

TECHNICAL SPECIFICATION

SPECIFICATION TECHNIQUE



**Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions –
Part 3: Measurement of radiated emissions – Surface scan method**

**Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques –
Partie 3: Mesure des émissions rayonnées – Méthode de balayage en surface**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.



TECHNICAL SPECIFICATION

SPECIFICATION TECHNIQUE



**Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions –
Part 3: Measurement of radiated emissions – Surface scan method**

**Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques –
Partie 3: Mesure des émissions rayonnées – Méthode de balayage en surface**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

W

ICS 31.200

ISBN 978-2-8322-1809-9

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviations	8
3.1 Terms and definitions	8
3.2 Abbreviations	9
4 General	9
5 Test conditions	10
5.1 General.....	10
5.2 Supply voltage	10
5.3 Frequency range	10
6 Test equipment.....	10
6.1 General.....	10
6.2 Shielding.....	10
6.3 RF measuring instrument	10
6.4 Preamplifier	10
6.5 Cables	11
6.6 Near-field probe	11
6.6.1 General	11
6.6.2 Magnetic (H) field probe	11
6.6.3 Electric (E) field probe.....	11
6.6.4 Combined electric and magnetic (E/H) field probe.....	11
6.6.5 Probe-positioning and data acquisition system.....	11
7 Test setup	12
7.1 General.....	12
7.2 Test configuration	12
7.3 Test circuit board	14
7.4 Probe-positioning system software setup	14
7.5 DUT software	14
8 Test procedure	14
8.1 General.....	14
8.2 Ambient conditions	14
8.3 Operational check	14
8.4 Test technique	15
9 Test report	16
9.1 General.....	16
9.2 Measurement conditions.....	16
9.3 Probe design and calibration	16
9.4 Measurement data	16
9.5 Post-processing	17
9.6 Data exchange.....	17
Annex A (normative) Calibration of near-field probes	18
A.1 General.....	18
A.2 Test equipment	20
A.2.1 General	20

A.2.2	PCB with microstrip line	20
A.3	Calibration setup	21
A.4	Calibration procedure	22
Annex B (informative)	Discrete electric and magnetic field probes.....	25
B.1	General.....	25
B.2	Probe electrical description	25
B.3	Probe physical description.....	26
B.3.1	General	26
B.3.2	Electric field probe	26
B.3.3	Magnetic field probe.....	26
Annex C (informative)	Combined electric and magnetic field probe example.....	28
C.1	General.....	28
C.2	Probe electrical description	28
C.3	Probe physical description.....	29
C.4	Measurement and data acquisition system.....	29
Annex D (informative)	Coordinate systems	31
D.1	General.....	31
D.2	Cartesian coordinate system	31
D.3	Cylindrical coordinate system	32
D.4	Spherical coordinate system.....	33
D.5	Coordinate system conversion	33
Bibliography		34
Figure 1	– Example of probe-positioning system.....	12
Figure 2	– One-input RF measurement setup	13
Figure 3	– Two-input RF measurement setup with reference probe	13
Figure 4	– Two-input RF measurement setup with reference signal	13
Figure 5	– Examples of data overlaid on an image of the DUT (Contour chart)	16
Figure A.1	– Typical probe factor against frequency	20
Figure A.2	– Microstrip line for calibration (transverse cross-section)	21
Figure A.3	– Microstrip line for calibration (longitudinal cross-section).....	21
Figure A.4	– Probe calibration setup.....	22
Figure A.5	– Scan direction across Microstrip line.....	22
Figure A.6	– Typical plot of measured signal level and simulated field strength (H_X)	24
Figure A.7	– Typical plot of measured signal level and simulated field strength (H_Z)	24
Figure B.1	– Electric and magnetic field probe schematics.....	25
Figure B.2	– Example of electric field probe construction (E_Z)	26
Figure B.3	– Example of magnetic field probe construction (H_X or H_Y).....	27
Figure C.1	– Electromagnetic field probe schematic.....	28
Figure C.2	– Electromagnetic field probe construction	29
Figure C.3	– Measurement and data acquisition system overview	30
Figure C.4	– Measurement and data acquisition system detail	30
Figure D.1	– Right-hand Cartesian coordinate system (preferred)	31
Figure D.2	– Left-hand Cartesian coordinate system.....	32
Figure D.3	– Cylindrical coordinate system.....	32
Figure D.4	– Spherical coordinate system	33

Table A.1 – Probe factor linear units	19
Table A.2 – Probe factor logarithmic units	19
Table A.3 – Dimensions for 50 Ω microstrip	21
Table D.1 – Coordinate system conversion	33

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INTEGRATED CIRCUITS –
MEASUREMENT OF ELECTROMAGNETIC EMISSIONS –****Part 3: Measurement of radiated emissions –
Surface scan method****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical specification when

- the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts, or
- the subject is still under technical development or where, for any other reason, there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard.

Technical specifications are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

IEC 61967-3, which is a technical specification, has been prepared by subcommittee 47A: Integrated circuits, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2005. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

a) Removal of:

- 9.4 Data analysis;
- Annex D – Analysing the data from near-field surface scanning.

b) Addition of:

- Introduction
- 9.4 Measurement data
- 9.5 Post-processing
- 9.6 Data exchange
- Annex D – Coordinate systems

c) Expansion of:

- 8.4 Test technique
- Annex A – Calibration of near-field probes

The text of this technical specification is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
47A/925/DTS	47A/937/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical specification can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 61967 series, published under the general title *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- transformed into an International standard,
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

Techniques for scanning near-fields radiated by integrated circuits and their surrounding environment can identify the areas of radiation, which may cause interference to nearby devices. The ability to associate magnetic or electric field strengths with a particular location on a device can provide valuable information for improvement of an IC both in terms of functionality and EMC performance.

Near-field scan techniques have considerably evolved over recent years. The improved sensitivity, bandwidth and spatial resolution of the probes offer analysis of integrated circuits operating into the gigahertz range. The ability to measure radiation both in the frequency and time domain allows not only analysis of fields generated by an IC, but also fields generated by externally applied disturbances propagating through the device. Post-processing can considerably enhance the resolution of a near-field scan measurement and the measured data can be shown in various ways, per user's choice.

INTEGRATED CIRCUITS – MEASUREMENT OF ELECTROMAGNETIC EMISSIONS –

Part 3: Measurement of radiated emissions – Surface scan method

1 Scope

This part of IEC 61967 provides a test procedure which defines an evaluation method for the near electric, magnetic or electromagnetic field components at or near the surface of an integrated circuit (IC). This diagnostic procedure is intended for IC architectural analysis such as floor planning and power distribution optimization. This test procedure is applicable to measurements on an IC mounted on any circuit board that is accessible to the scanning probe. In some cases it is useful to scan not only the IC but also its environment. For comparison of surface scan emissions between different ICs, the standardized test board defined in IEC 61967-1 should be used.

This measurement method provides a mapping of the electric or magnetic near-field emissions over the IC. The resolution of the measurement is determined by the capability of the measurement probe and the precision of the probe-positioning system. This method is intended for use up to 6 GHz. Extending the upper limit of frequency is possible with existing probe technology but is beyond the scope of this specification. Measurements may be carried out in the frequency domain or in the time domain.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050(all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <<http://www.electropedia.org>>)

IEC 61967-1, *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz – Part 1: General conditions and definitions*

3 Terms, definitions and abbreviations

3.1 Terms and definitions

For the purpose of this document, the terms and definitions given in IEC 61967-1, IEC 60050-131 and IEC 60050-161, as well as the following apply.

3.1.1

altitude

distance between the tip of the near-field probe and the reference plane of the scan (e.g. the PCB, the upper surface of the package)

Note 1 to entry: The term “altitude” refers to the vertical direction in a Cartesian coordinate system (Z-axis) in this document.

3.1.2

probe factor

ratio of electric or magnetic field strength at a specified location in near-field evaluation to the signal level measured at the output connection or applied to the input connection of a probe

3.1.3

spatial resolution

aptitude of a probe to distinguish measured field between two points

3.2 Abbreviations

DUT: device under test

NFS: near-field scan

PCB: printed circuit board

4 General

The electric and magnetic fields measured by scanning over the surface of the IC yield information on the relative strength of emission sources within the IC package. It enables the comparisons between different architectures to facilitate reductions in RF emissions from the IC. The electric and magnetic field patterns over the surface of the IC are related to the electromagnetic radiation potential of the IC and its constituting electronic module. However, this procedure is intended to provide a comparative measure for ICs and not to predict far field levels for the IC or its circuit board.

Characterizing an IC involves the acquisition of a series of magnitude and/or phase measurements at specific frequencies or times. Each scan over a die or package collects a large amount of data depending on the number of locations scanned and the number of frequencies or times measured at each location. Because of the required precision and the amount of measured data, this test method uses a computer-controlled probe-positioning and measurement system to achieve accurate and repeatable probe data. Control software shall be prepared or adapted to control the optical, precision stepper motors typically used in such systems. This method also requires an analysis and handling of a large amount of data typically performed by dedicated software programs. The scanning time depends on the number of frequencies or times, the number of locations measured, and the capability of the data collection system.

Due to the wide array of IC processes, packaging technologies, as well as their physical dimensions, this document does not specify the designs of probe-positioning systems or near-field probes. The designs of the positioning system and the probes depend on the desired measurement frequency range, spatial resolution, field type, and the performance of the available components (such as stepper motors).

The spatial resolution depends on the physical dimensions and construction of the probe. If the spatial resolution is known, it shall be included in the test report.

The altitude of the probe above the IC surface is not specified. The actual probe height shall be included in the test report.

The step size of the probe position shall be chosen to fully utilize the spatial resolution while minimizing the number of measurement points. Step size can be smaller in particular areas of the die or package for higher resolution. With post-processing the data for higher resolution, the spatial resolution at the measurement can be reduced, which allows a larger step size.

5 Test conditions

5.1 General

Test conditions shall meet the requirements of IEC 61967-1. In addition, the following test conditions shall apply.

5.2 Supply voltage

A supply voltage should follow the IC manufacturer's specification. If the user uses other voltage, it shall be documented in the test report.

5.3 Frequency range

An effective frequency range of this radiated emission measurement procedure is 150 kHz to 6 GHz. If a single probe is not able to cover the whole frequency range, the frequency range may be divided into sub-ranges to allow the use of multiple probes, each of which suits individual frequency sub-range.

6 Test equipment

6.1 General

The test equipment shall meet the requirements as described in IEC 61967-1. In addition, the following test equipment requirements shall apply.

6.2 Shielding

Double shielded or semi-rigid coaxial cable is recommended for interconnections between the probe and the measuring equipment. Depending on the local ambient conditions, it may also be necessary to carry out the measurements in a shielded room.

6.3 RF measuring instrument

The RF measuring instrument utilized for this test method depends on the type of probe selected and whether phase or time information is to be acquired. In the case of utilizing a electric or magnetic field probe and measuring only emission amplitude, a one-input device such as a spectrum analyser, EMI receiver or oscilloscope shall be used. For time domain measurements an oscilloscope may be used.

In the case of utilizing an electric or magnetic field probe to measure both emission amplitude and phase, a two-input device such as a vector signal measuring instrument shall be used.

NOTE To measure phase and amplitude with a vector signal measuring instrument, the reference input (R) and another input (A or B) are used. The S-parameter ports cannot be generally used for this measurement.

The resolution bandwidth of the spectrum analyser or receiver shall be adjusted to ensure sufficient noise margin (greater than 6 dB) while allowing adequate sweep time, depending on the chosen test procedure. The video bandwidth shall not be less than three times the resolution bandwidth. The resolution bandwidth and video bandwidth shall be described in the test report.

6.4 Preamplifier

A low noise high gain preamplifier may be used to enhance sensitivity or to meet the ambient requirements in 8.2. In order to achieve the lowest noise floor for the measurements, the pre-amplifier shall be connected to the probe with the shortest possible cable. Its characteristics (e.g. gain, noise figure, etc.) should be included in the test report.

Near-field probes usually present very poor return loss. If the probe does not present a good impedance match, noise figure and gain of the system will be modified. In order to avoid unwanted effects such as oscillations or preamplifier damage, specific care is to be taken during preamplifier selection in regards to its stability in near-field scan setup environment.

6.5 Cables

The scanning motion of the probe requires the use of flexible cables between certain elements of the setup. Care shall be taken to choose cables that are durable for the scanning motion of the probe besides maintaining their high frequency performance. The cable losses as a function of frequency should be included in the test report.

Owing to the repeated movement of the cables, which can accelerate their deterioration, calibration of the cables shall be carried out regularly. When the test frequency is higher than 1 GHz or phase measurements are to be carried out, the cables shall be calibrated before each test.

6.6 Near-field probe

6.6.1 General

The near-field probes employed for surface scanning can take various forms depending on the users' preferences, the type of field to be measured, the capabilities of the measurement equipment, and the desired spatial resolution of the measurement. Probe calibration is detailed in Annex A. Some probes receive a field only in a specific direction. In order to receive fields in several directions, it is necessary to change the probe or rotate it during the scan process. A brief description of the probe(s) used for the measurement shall be included in the test report. Various types of near-field probes are discussed below.

NOTE The structures of magnetic and/or electric probes are shown in Annexes B and C. However, the applicable frequency range depends on the probe structure and calibration method.

6.6.2 Magnetic (H) field probe

For magnetic field measurements, a single turn, miniature magnetic loop probe is often used. The typical probe is composed of wire, coaxial cable, PCB traces, or any other suitable material. An example of a magnetic field probe is shown in Annex B and in IEC 61967-6 [1]¹.

6.6.3 Electric (E) field probe

For electric field measurements, a miniature electric field probe is typically used. The probe may be constructed of wire, coaxial cable, PCB traces, or any other suitable material. An example electric field probe is shown in Annex B.

6.6.4 Combined electric and magnetic (E/H) field probe

For combined electric and magnetic field measurements, a single turn, miniature magnetic loop probe is typically used. The probe may be constructed of wire, coaxial cable, PCB traces, or any other suitable material. An example electromagnetic field probe is shown in Annex C.

6.6.5 Probe-positioning and data acquisition system

A precise probe-positioning system and data acquisition system are required. The probe-positioning system shall be able to move the probe in at least two axes (parallel to the DUT surface) and shall be capable of positioning the probe with a mechanical step at least ten times less than the minimum required step size. Although this specification describes the use of Cartesian scanning (X, Y and, optionally, Z-axis), polar and cylindrical scanings are also

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

possible. Annex D defines the three coordinate systems and how the position information can be converted between them. When using Cartesian coordinates, the right-hand system is preferred. If the left-hand system is used, it shall be indicated in the test report. In some cases the probe-positioning system has a mechanical structure to rotate the probe for adjusting probe orientation. It may be controlled by the data acquisition system.

The x, y and z position of the near-field probe may be out of alignment after the rotation. Care should be taken to compensate the resulting offset by repositioning the probe.

An example of a probe-positioning system is shown in Figure 1. While not shown in Figure 1, the DUT is installed on a PCB that is typically mounted on a test fixture to improve stability.

The data acquisition system is typically a computer with software enabling the desired scan parameters, controlling the measuring instrument and the probe scanning system, and acquiring the data. The system configurations and the controlling software shall be described in the test report.

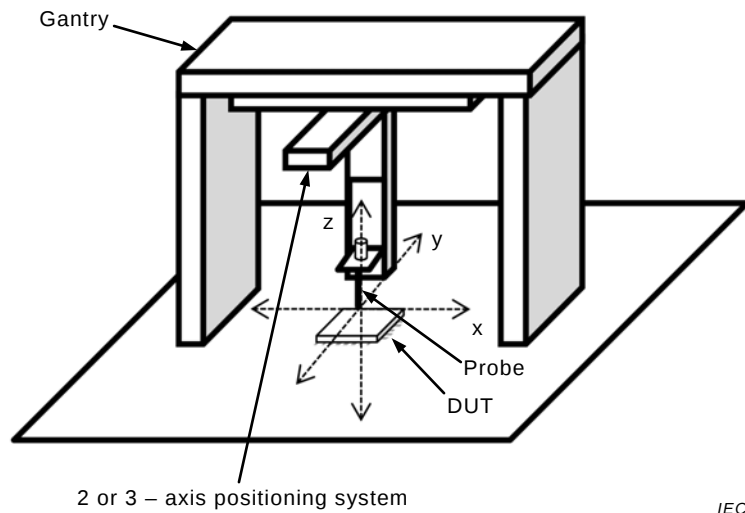


Figure 1 – Example of probe-positioning system

7 Test setup

7.1 General

Test setup shall meet the requirements as described in IEC 61967-1. In addition, the following test setup requirements shall apply.

7.2 Test configuration

The general test setups are shown in Figures 2, 3 and 4.

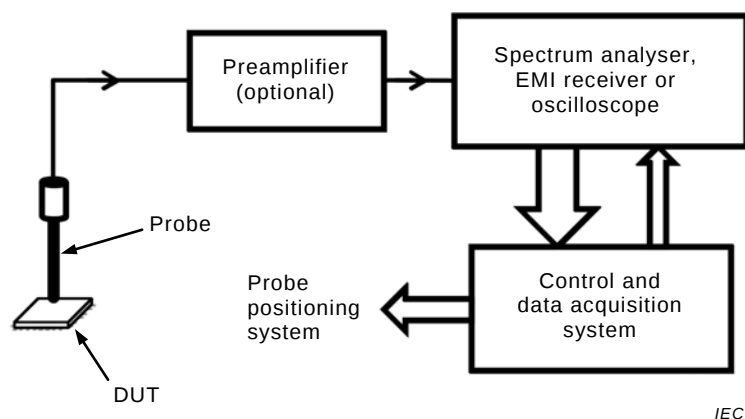


Figure 2 – One-input RF measurement setup

The setup of Figure 2 allows measurement of only magnitude. The setups of Figures 3 and 4 allow magnitude measurements with phase or time domain measurements.

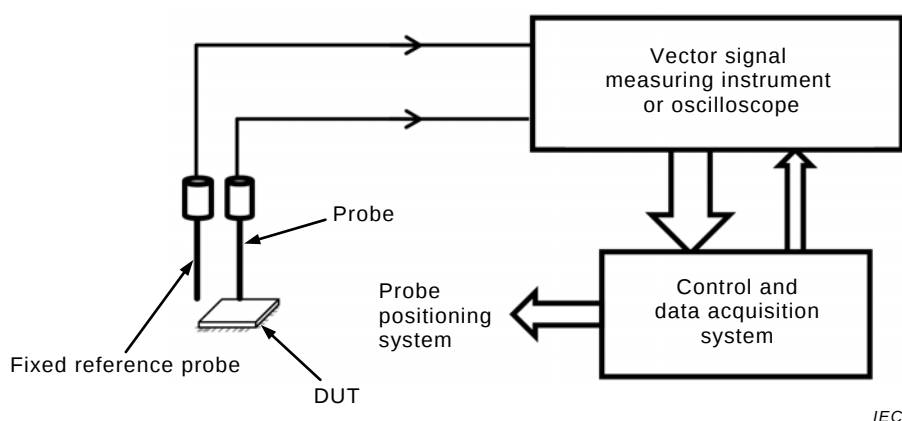


Figure 3 – Two-input RF measurement setup with reference probe

For phase or time domain measurements, a reference signal is required. This signal may be applied externally to a pin of the device, output from the device via a pin or captured with a stationary auxiliary probe.

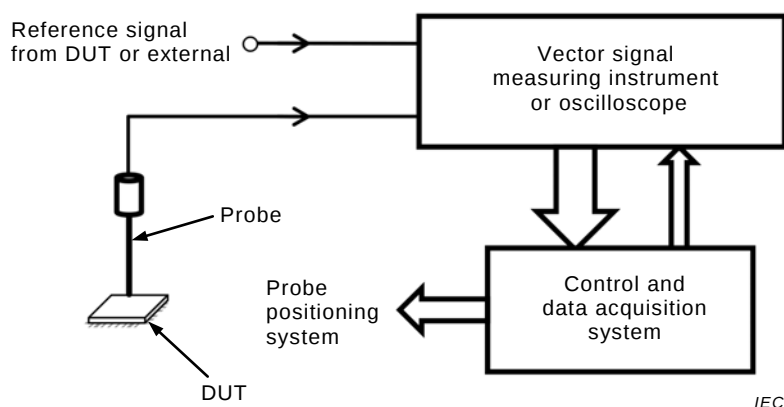


Figure 4 – Two-input RF measurement setup with reference signal

Phase information is needed in order to calculate the current distribution on the DUT (see 9.5). If only the magnitude of the radiated field is required, phase information is not needed.

7.3 Test circuit board

The test circuit board, on which the DUT is mounted and scanned, may be any board accessible to the scanning probe. If ICs are to be evaluated for comparison purposes, they shall be tested on identical PCBs. The PCB may be an application PCB or a standardized test circuit board designed in accordance with IEC 61967-1.

The test circuit board shall be firmly installed in the probe-positioning system to enhance test reproducibility. This shall be accomplished by the use of a test fixture having a limited impact on the radiated field.

7.4 Probe-positioning system software setup

After the DUT and its test PCB are set up, verify that the probe-positioning system software is configured for the desired scan parameters, in particular those concerning the desired area to be scanned. Ensure that there are no obstacles that could damage the probe within the desired scan area. Some scanner software requires reference points to compensate for alignment errors, origin offsets, etc., as well as to improve the reproducibility of the measurements. Cameras, lasers and other such artifices may be used to assist the alignment. Images of the DUT may also be recorded and used as a background for the field measurements (see 9.4). A brief description of such procedures shall be included in the test report.

7.5 DUT software

Appropriate software shall be implemented in the DUT during the measurement to meet the requirements of IEC 61967-1. The description of the software shall be included in the test report.

8 Test procedure

8.1 General

The test procedure shall be in accordance with IEC 61967-1 except as modified herein. These default test conditions are intended to assure a consistent test environment. If the users of this procedure agree to other conditions, they shall be documented in the test report.

8.2 Ambient conditions

The ambient RF noise level shall be measured to establish the noise floor of the test setup. Only measurement results, at least 6 dB above the noise floor, are considered reliable. The DUT shall be installed in the test set-up, as used for testing. The DUT shall not be activated (e.g. power supply voltage disconnected). The test equipment shall be adjusted for an operational scan. A scan shall be made to measure the ambient noise and the results shall be described in the test report.

If the ambient RF noise level is excessive, the integrity of the overall measurement system, especially the interconnecting cables and connectors, shall be checked. If necessary, a shielded enclosure, a lower noise and/or higher gain preamplifier or a narrower resolution bandwidth shall be used.

8.3 Operational check

The DUT shall be energized and an operational check shall be performed to ensure proper operation of the device (i.e. Run IC test code).

8.4 Test technique

With the IC test board energized and the DUT operated in the intended test mode, measure the signal level at the output terminal of the probe at each desired frequency, location and field direction.

The procedure used will depend on the configuration of the DUT, the test equipment, the positioning system and data acquisition system, as well as any user's preferences. For example, it is possible to position the probe at a specific location, measure data at a series of frequencies and then move to the next location. However, it may be preferred to measure data at a specific frequency over the entire surface before changing the measurement frequency and rescanning the entire surface.

At a specific location the measurement may be made at a specific frequency (i.e. the spectrum analyser operating at a single fixed frequency or in "Zero span" mode) or over a band of frequencies swept by the receiver or spectrum analyser (i.e. Centre frequency/span mode or start/stop frequency mode). Care shall be taken to choose a swept frequency band, resolution bandwidth, video bandwidth and sweep time so as to allow for a complete cycle of IC operation.

When using a spectrum analyser, enable the "Max Hold" function and allow the analyser to perform a minimum of three sweeps while the IC operating cycle executes. The sweep time should be much greater than the IC operating cycle time, in order to ensure the capture of all expected events (pulses, bursts, etc.).

NOTE The "Max Hold" setting on a spectrum analyser maintains the maximum level of each trace data point and updates each point if a new maximum level is detected in successive sweeps.

When using a receiver, dwell at each test location for a time greater than or equal to six times the IC operating cycle time and record the maximum level detected.

When using a vector network analyser for phase and amplitude measurements, adjust the parameters such as resolution bandwidth, averaging, sweep time, etc. to obtain optimum measurement accuracies depending on the type of measurement being carried out.

When using an oscilloscope for time domain measurements, adjust the sampling frequency, triggering conditions, sweep time, use of filters, etc. to obtain desired accuracies and measurement time. Such parameters shall be included in the test report.

In the case of a probe able to measure a single field direction, it may be rotated automatically at each location to allow measurement of, for example, the X-field and the Y-field. If the rotation is manual, it is usual to scan the entire surface with the probe in one position and to turn it by 90 ° before rescanning the surface. A similar procedure is used if the probe must be changed to switch from, for example, a measured field in the XY-plane to a field in the Z plane. In all cases, care shall be taken to ensure correct rotation and positioning of the various probes with respect to the DUT.

It is also possible to rotate the probe at each location to find the maximum field (e.g. in the XY-plane). The field angle is then included in the test report.

Scans can be made in a plane that is parallel or perpendicular to the surface of the IC or in a series of planes to form a three-dimensional mapping. The measurement frequency can be varied to evaluate the frequency dependency of the emission source pattern of the DUT. The distance between a measurement plane and the surface of the IC can be varied to create a three-dimensional emission pattern of the IC. The scanned plane and the stepping of the probe can be determined arbitrarily for the purpose of measurement. Although scans are usually carried out at a constant altitude above the DUT, they may also follow the contours of the DUT and surrounding area.

The data acquisition system stores the signal level measured at the probe output at each location, probe orientation and frequency. Post-processing can take into account the gains, losses and phase offsets caused by a preamplifier and cables. Probe calibration data can allow conversion from measured signal level to magnetic or electric field strength.

9 Test report

9.1 General

The test report shall meet the requirements of IEC 61967-1. In addition, the following test report requirements shall apply.

9.2 Measurement conditions

All measurement conditions shall be documented in the test report. Typical measurement conditions include scan frequency, scan area, scan probe altitude, scan step size, and probe orientation. Any useful information on the data acquisition software and alignment aids may also be included.

9.3 Probe design and calibration

The physical design of the probe, the calibration procedure and calibration data shall be described in the test report.

9.4 Measurement data

The quantity of data acquired by near-field scan measurements can be very large and difficult to view and analyse. In order to provide meaningful information on the near-field radiation of the DUT, the measurement of signal level or field strength may be shown as a grey-scale or colour-scale contour chart. The data array may be overlaid on an image of the DUT, thereby facilitating localization of various areas of high signal strength. Figure 5 shows two examples of data arrays.

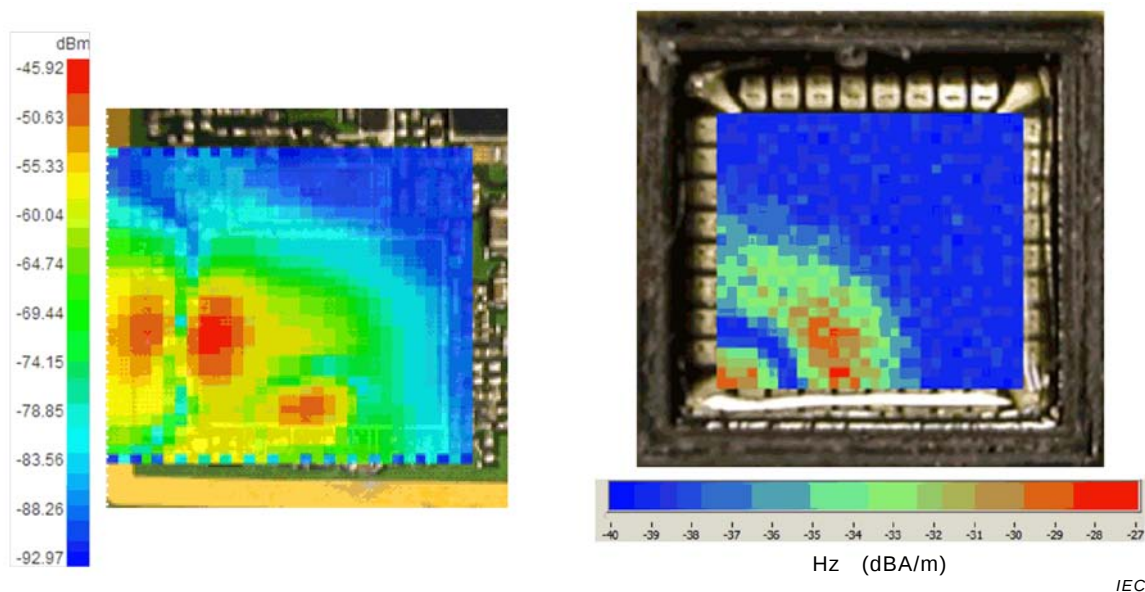


Figure 5 – Examples of data overlaid on an image of the DUT (Contour chart)

Measurement data may also be included in the form of graphs, tables or any other representation allowing the user to appreciate the results.

9.5 Post-processing

Post-processing of the near-field scan data can considerably enhance its resolution and display, as well as reducing the data acquisition time. Many possibilities are described in publications, including [2].

Any post-processing applied to the data shall be described with, when applicable, references to specific software or bibliography.

9.6 Data exchange

In order to facilitate the exchange of data between users, the XML format described in IEC TR 61967-1-1 [3] should be used.

Annex A (normative)

Calibration of near-field probes

A.1 General

Calibration of a probe compensates variations of sensitivity with frequency and allows conversion of the signal level at its output to magnetic or electric field strength. Measured signal level and field strength are related by the probe factor of the probe. The following equations are possible and all are commonly used. It is not the intention of this specification to impose one or the other and therefore all are described.

When measuring voltage or current at the output of the probe, the probe factor may be calculated according to one of the following equations:

$$F_{PA} = \frac{M_F}{F} \quad (\text{A.1})$$

$$\text{or } F_{PB} = \frac{F}{M_F} \quad (\text{A.2})$$

where:

F_{PA} and F_{PB} are the probe factors;

M_F is the measured signal level in volts (V) or amperes (A);

F is the field strength in volts per metre (V/m) or amperes per metre (A/m).

F_{PA} and F_{PB} are simply reciprocals of each other.

When the power at the output of the probe is measured, the equations for calculating the probe factor become:

$$F_{PC} = \frac{M_F}{F^2} \quad (\text{A.3})$$

$$\text{or } F_{PD} = \frac{F^2}{M_F} \quad (\text{A.4})$$

where:

F_{PC} and F_{PD} are the probe factors;

M_F is the measured signal level in watts (W);

F is the field strength in volts per metre (V/m) or amperes per metre (A/m);

F_{PC} and F_{PD} are simply reciprocals of each other.

The probe factor may also be expressed in dB.

The applicable relationship can be readily recognised by the units in which the probe factor is expressed. Table A.1 and Table A.2 show permitted combinations of units. In order to avoid confusion, scaling factors (k, m, μ , etc.) should not be used. The use of

parentheses in the units avoids confusion with other units (e.g. dBm for dB milliwatt and dB(m) for dB metre).

Table A.1 – Probe factor linear units

Probe factor		F_{PA} or F_{PC}		F_{PB} or F_{PD}	
Field strength units (F)		A/m	V/m	A/m	V/m
Measured signal units (M_F)	V	$\Omega \cdot m$ (A.1)	m (A.1)	S/m (A.2)	1/m (A.2)
	A	m (A.1)	S·m (A.1)	1/m (A.2)	Ω/m (A.2)
	W	$\Omega \cdot m^2$ (A.3)	S·m ² (A.3)	S/m ² (A.4)	Ω/m^2 (A.4)
NOTE The number in brackets refers to the appropriate equation.					

Table A.2 – Probe factor logarithmic units

Probe factor		F_{PA} or F_{PC}		F_{PB} or F_{PD}	
Field strength units (F)		dBA/m	dBV/m	dBA/m	dBV/m
Measured signal units (M_F)	dBV	dB($\Omega \cdot m$) (A.1)	dB(m) (A.1)	dB(S/m) (A.2)	dB(1/m) (A.2)
	dBA	dB(m) (A.1)	dB(S·m) (A.1)	dB(1/m) (A.2)	dB(Ω/m) (A.2)
	dBW	dB($\Omega \cdot m^2$) (A.3)	dB(S·m ²) (A.3)	dB(S/m ²) (A.4)	dB(Ω/m^2) (A.4)
NOTE The number in brackets refers to the appropriate equation.					

For an emission scan, the probe measures the field (electrical or magnetic) surrounding it. The distance from the source is of no significance. The probe factor is therefore defined only as a function of frequency. Care should be taken to include sufficient frequencies to describe the characteristic accurately. A typical graph for probe factor (voltage measured at the output of the probe) against frequency is shown in Figure A.1. At lower frequencies the slope of the characteristic is 20 dB per decade, but at higher frequencies the measured probe factor deviates from the theoretical values.

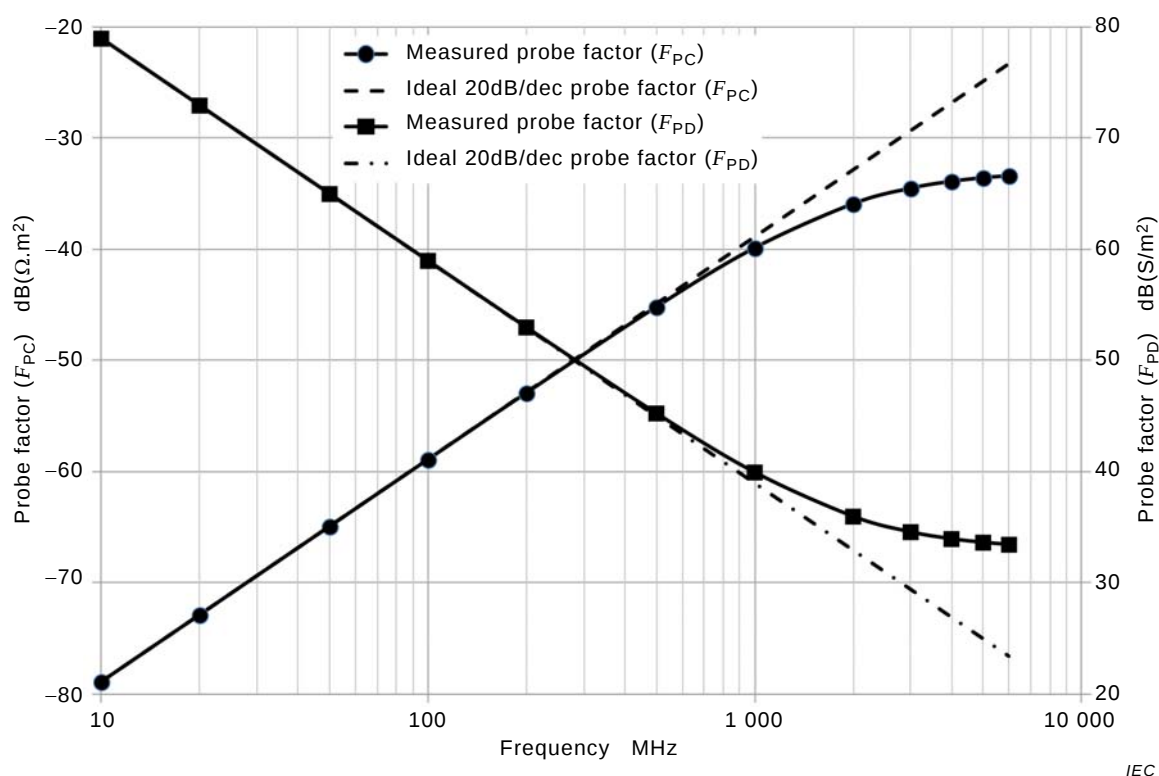


Figure A.1 – Typical probe factor against frequency

Suppliers may provide calibration data with the probe. In that case, calibration by the method described below is not required. Nevertheless, verification shall be carried out periodically using the following method.

The probes used for the measurement shall be calibrated in accordance with the procedure described below. In order to obtain the probe factor of the probe, a microstrip line method is used because it closely reflects the actual measurement [4]. The method consists of measuring the signal level at the output of the probe and comparing with the field strength obtained by simulation with a 3D electromagnetic simulator or obtained from the theoretical analysis described in IEC 61967-6. The probe factor is the ratio of the measured signal level to the calculated field strength. This calibration method should be performed using the surface scan measurement set-up described above to minimize measurement errors and to ensure a high level of repeatability.

A.2 Test equipment

A.2.1 General

The test equipment used for calibration of the probes shall follow Clause 7.

A.2.2 PCB with microstrip line

A two-layer PCB shall consist of an unbroken ground plane on one layer, a strip on the other, and a dielectric as shown in Figures A.2 and A.3. The width of the microstrip line (W) shall be determined from the thickness of the dielectric support (h) and its dielectric constant (ϵ_r), such that the resulting characteristic impedance is $50 \Omega \pm 5 \Omega$. The calculation may be based on any well-known method ([5], [6], [7]). The length of the strip (L) and the width of the ground plane (W_g) under the microstrip line shall be at least twenty times its width (W). The microstrip line shall be centred with respect to the ground plane. Table A.3 gives several examples of dimensions. Coaxial connectors are placed at each end of the microstrip line. The characteristic impedance of the microstrip line over the desired frequency range should be

verified using a network analyser, a spectrum analyser with tracking generator or an oscilloscope capable of time domain reflectometry (TDR) measurements. The verification shall be carried out at a minimum of three discrete frequencies per decade (for example, 10 MHz and 100 MHz) up to the maximum desired frequency. Scans shall be carried out at different positions along the line to verify the presence of standing waves. The variation of measured power along the line should not exceed $\pm 0,4$ dB.

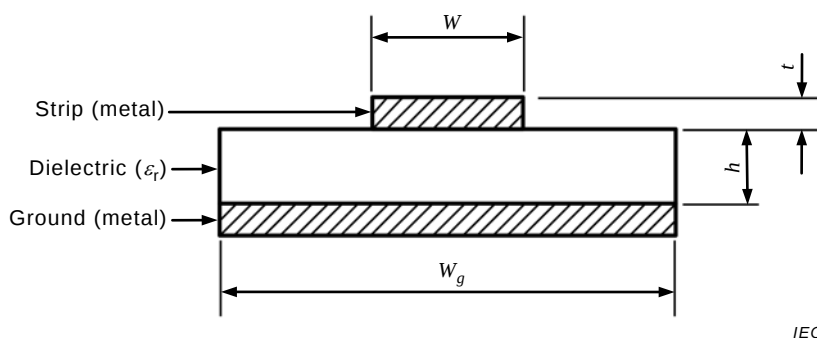


Figure A.2 – Microstrip line for calibration (transverse cross-section)

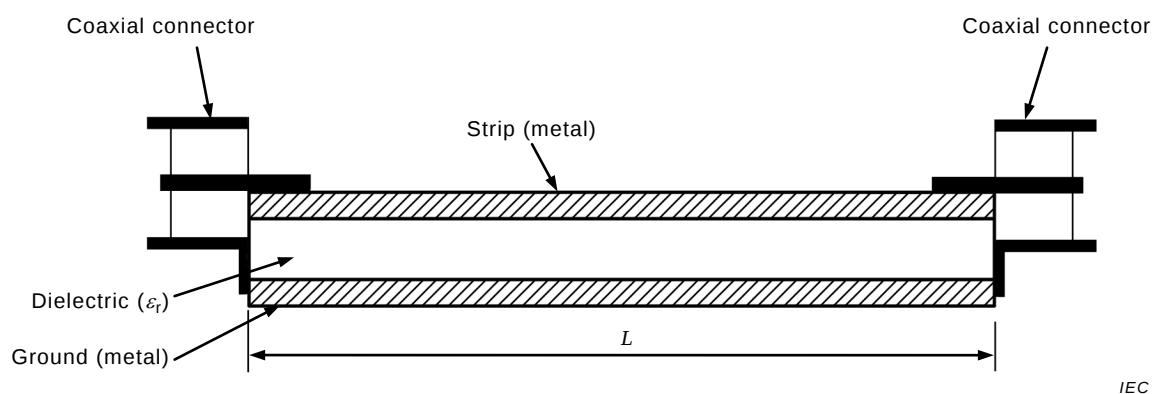


Figure A.3 – Microstrip line for calibration (longitudinal cross-section)

Table A.3 – Dimensions for 50 Ω microstrip

Dielectric constant (ϵ_r)	Dielectric thickness (h)	Microstrip line width (W)
4,5	0,6 mm	1 mm
4,5	1,6 mm	3 mm
2,2	0,8 mm	2,4 mm
2,2	1,6 mm	4,8 mm

A.3 Calibration setup

The test set-up used for calibration of the probes shall be as described in Clause 8 of this specification. Figure A.4 shows the test set-up for calibration, where the probe shall be located at the centre of the microstrip line (transverse direction).

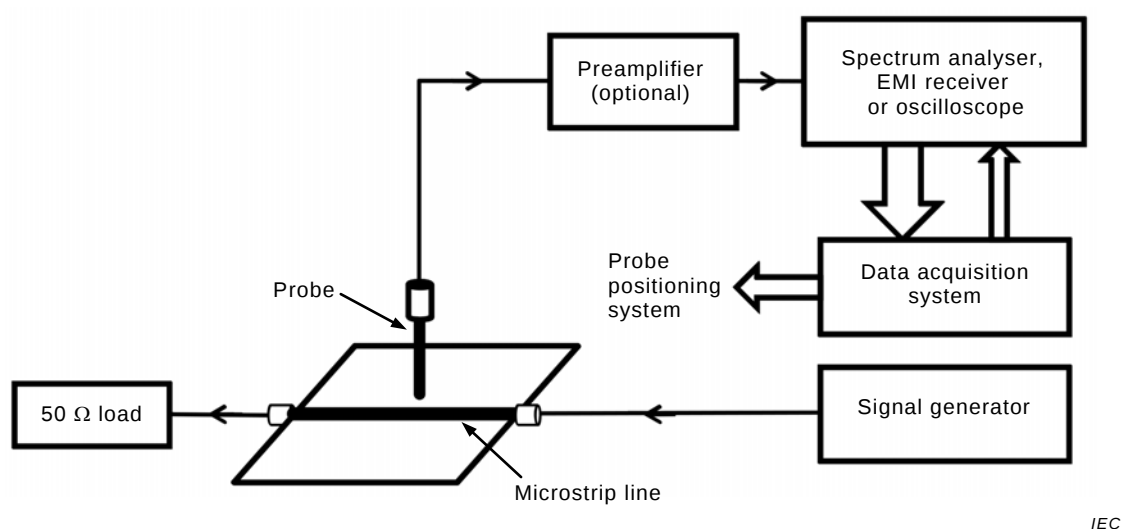


Figure A.4 – Probe calibration setup

A.4 Calibration procedure

The calibration factor of the probe is determined by driving the microstrip line with a signal at the desired frequency and scanning across the microstrip line as shown in Figure A.5. The applied power shall be chosen to produce a measured signal with a noise margin of at least 20 dB at all calibration frequencies. For the purposes of this specification, it is assumed that the field directions are as shown in Figure A.5. The Z-direction is perpendicular to the PCB. It is also assumed that there is negligible field strength in the Y-direction.

The calibration procedure shall be either that described in this Clause A.4 or, for magnetic probes, the procedure described in IEC 61967-6. The calibration procedure used shall be described in the test report.

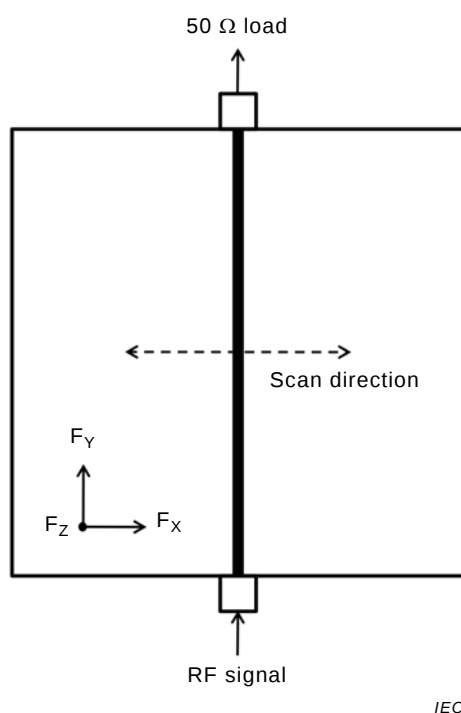


Figure A.5 – Scan direction across Microstrip line

- a) Place the probe over the microstrip line so that the probe is perpendicular to the ground plane. The altitude of the probe shall be maintained at $1,0 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, unless the probe sensitivity requires a lower altitude. The probe shall be orientated so as to capture the maximum field strength in the direction to be calibrated (X- or Z-direction). The probe shall be located at the centre of the microstrip line (Y-direction).
- b) Connect a signal generator to one end of the microstrip line and terminate the other end of the microstrip line into a 50 W load.
- c) Connect the field probe to a measuring instrument as shown in Figure A.4.
- d) Set the signal generator to the first frequency to be calibrated.
- e) Set the output power from the signal generator to produce a measured signal with a noise margin of at least 20 dB. This will excite an electromagnetic field around the reference microstrip line.
- f) Perform a scan in the direction perpendicular to the microstrip line (X-direction) and record the levels output from the probe as measured with the measuring instrument.
- g) Repeat the measurement at a minimum of three discrete frequencies per decade (for example, 10 MHz and 100 MHz) up to the maximum desired frequency.
- h) Plot the measured data at each frequency against distance from the centre of the microstrip line as shown in the examples of Figures A.6 and A.7. Similar characteristics are found for electric fields [8], [9].
- i) In the case of a probe measuring a field in the Z-direction, the probe should be rotated by 90° and steps f, g and h repeated.
- j) Carry out field strength simulations of the microstrip line with a 3D-electromagnetic simulator at each frequency considered and plot the resulting data on the same graph as the measurement.
- k) Compare the measured results with the simulation results. The shape of the two characteristics should be similar and nulls should coincide. If nulls do not coincide, the simulated altitude may differ slightly from the measured altitude of the probe. This may be due to the point of maximum sensitivity of the probe being at a greater altitude than the probe tip and is particularly noticeable for Z-field probes. The altitude of the simulated characteristic can be adjusted to best fit the measured data. The probe factor is determined from the maximum values of the measured and simulated characteristics using the equations in A.1. Care should be taken to adjust the units of field strength and measured signal level to give the desired power factor units. In the case of a characteristic with two maxima (e.g. H_z as shown in Figure A.7), the mean value of the two maxima may be used for the calculation of the probe factor. Similarly, in the case of a measurement of the Z-field, the mean value between the characteristics resulting from the orthogonal measurements may be used. Note the probe factor obtained at each desired frequency. The results may be presented either in tabular form or as a plot against frequency as shown in Figure A.1.

The probe will integrate the field (surface or length). It is therefore necessary to determine the effective centre of the probe when comparing with the simulated field. This depends considerably on the type of probe (E or H) and is particularly important for large probes.

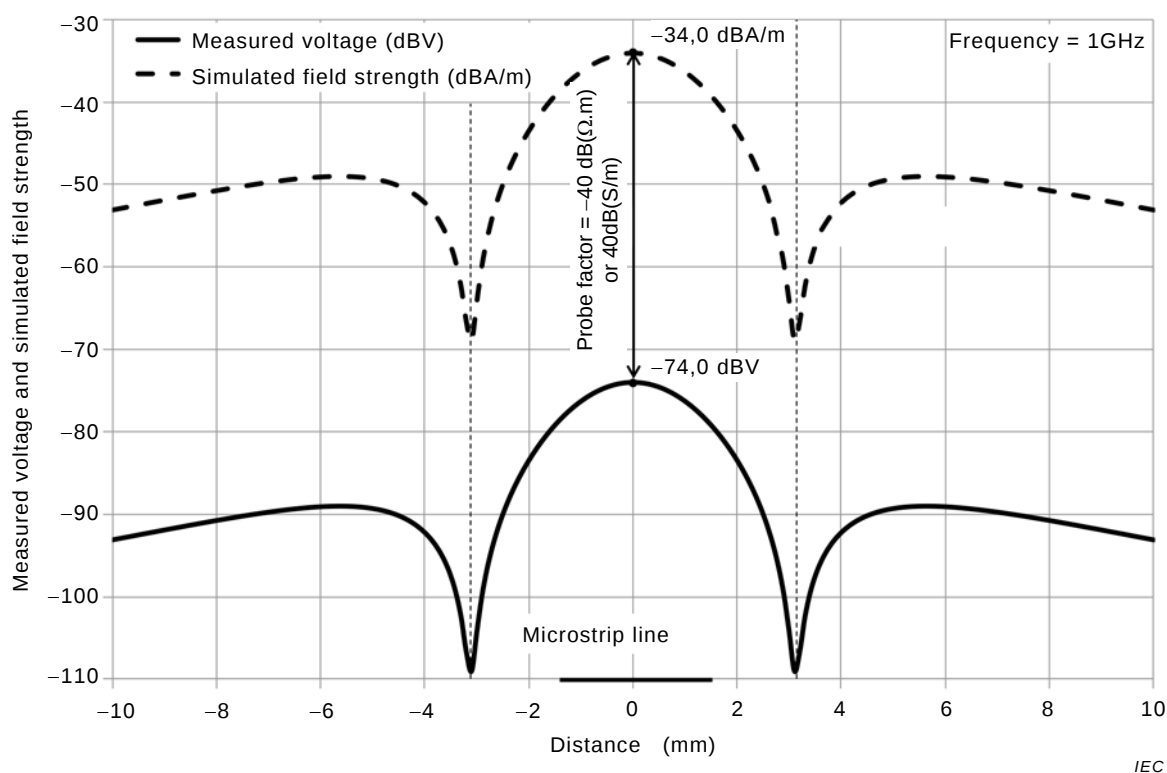


Figure A.6 – Typical plot of measured signal level and simulated field strength (H_x)

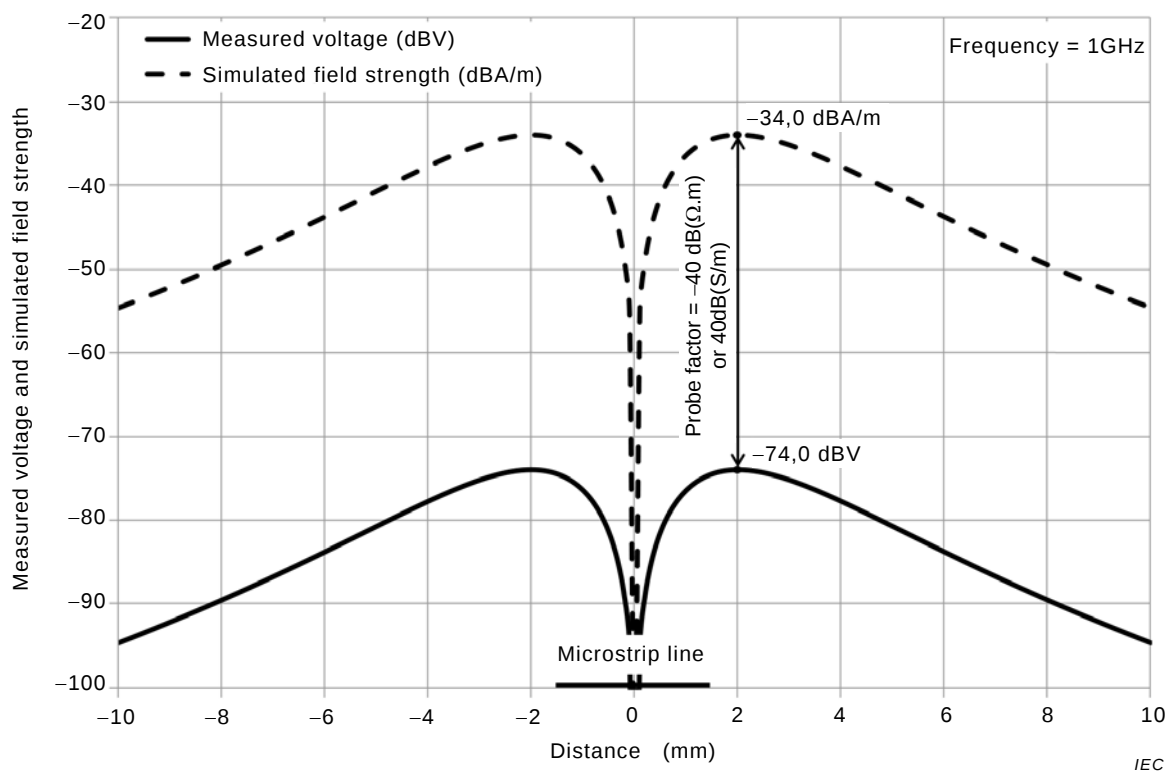


Figure A.7 – Typical plot of measured signal level and simulated field strength (Hz)

Annex B (informative)

Discrete electric and magnetic field probes

B.1 General

Discrete electric and magnetic field probes can be utilized instead of the combined electromagnetic field probe to perform surface scan measurements. Using a discrete electric or magnetic field probe can simplify the test set-up and data processing provided that it meets the needs of the user. The design and construction of the discrete electric and magnetic field probes is not specified to allow the use of a variety of probes to meet the specific needs of the user.

The measurement system and data processing program used to gather and manipulate measured data is not specified either and will vary depending on the type of probe used and the desired results.

Examples of possible discrete electric and magnetic field probes and an example measurement system are provided below.

B.2 Probe electrical description

The equivalent circuit of the discrete electric and magnetic field probes and their outputs are shown in Figure B.1. The figure illustrates how the field probes measure electric and magnetic fields. The outputs signals from the electric and magnetic field probes are induced by the electric or magnetic field, respectively. The current from magnetic field I_M is generated by magnetic flux crossing the area of the loop. The current from electric field I_E is induced by the electric field at the sensing element of the electric field probe.

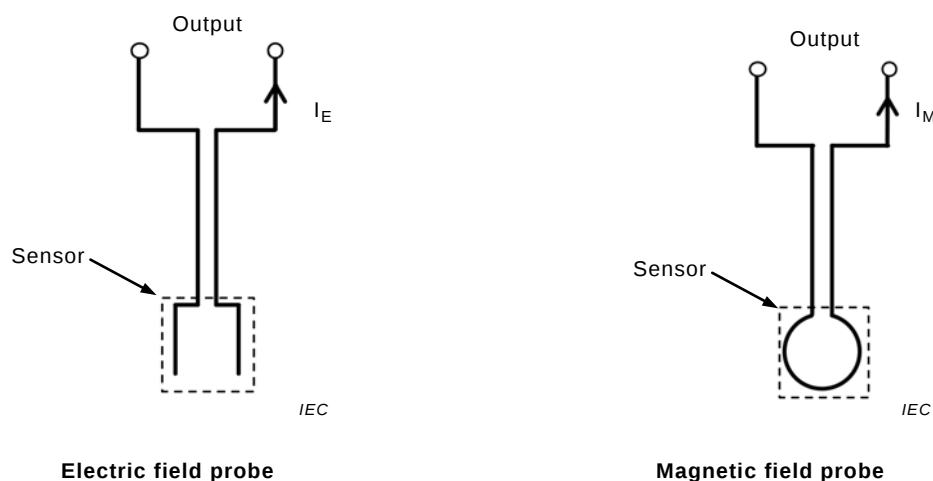


Figure B.1 – Electric and magnetic field probe schematics

B.3 Probe physical description

B.3.1 General

While there are many acceptable ways to construct usable electric and magnetic field probes, the example probes described in the following B.3.2 and B.3.3 are constructed using semi-rigid coaxial cable. The benefit of cable construction is the resulting small physical size of the probe and easy impedance control. Problems with cable construction include the difficulty of construction and the potential probe damage.

B.3.2 Electric field probe

An example electric field probe is shown in Figure B.2. The electric field sensor is the centre conductor. Note that the shield of the cable may be extended to cover the centre conductor. For other examples see [9]. The measured field direction is parallel to the conductor (in this case E_z).

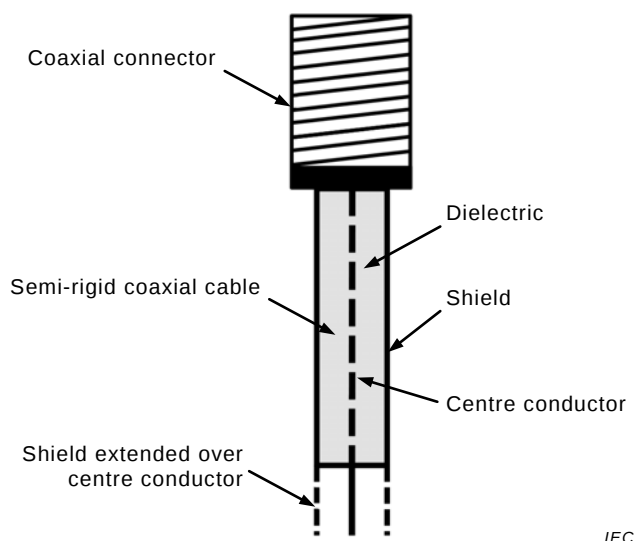


Figure B.2 – Example of electric field probe construction (E_z)

B.3.3 Magnetic field probe

An example magnetic field probe is shown in Figure B.3. The magnetic field sensor is the single loop formed by the centre conductor and terminated to the shield. The measured field direction is perpendicular to the plane of the loop (in this case H_x or H_y).

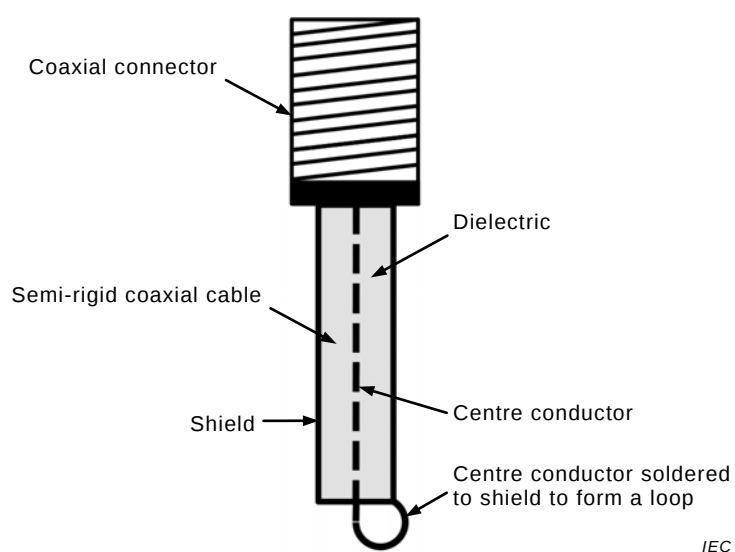


Figure B.3 – Example of magnetic field probe construction (H_X or H_Y)

Annex C (informative)

Combined electric and magnetic field probe example

C.1 General

A probe that combines the capability for both magnetic field and electric field measurements can be utilized instead of discrete magnetic field and electric field probes [10]. The design and construction of the combined electric and magnetic field probe is not specified to allow the use a probe or probes to meet the specific needs of the user. The measurement system and data processing program used to gather and manipulate measured data is not specified either and will vary depending on the type of probe used and the desired results.

An example of a possible combined electric and magnetic field probe and an example measurement system are provided below.

C.2 Probe electrical description

The equivalent circuit of the combined electric and magnetic (electromagnetic) field probe and its outputs is shown in Figure C.1. The figure illustrates how the sensor measures electric and magnetic fields. The outputs signals from the sensor are induced by both electric and magnetic fields. The current from magnetic field, I_M , is generated by magnetic flux crossing the loop. The resulting outputs induced by the magnetic field have the same magnitude but are opposite in direction at locations A and B. The current from electric field, I_E , is induced by the electric field at the sensing element. The resulting outputs from the electric field also have the same magnitude but flow in the same direction at locations A and B.

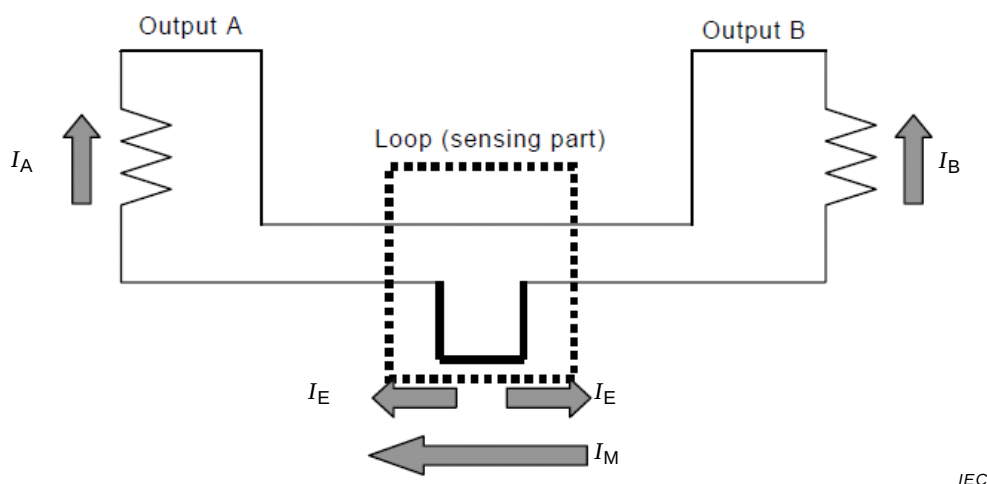


Figure C 1 – Electromagnetic field probe schematic

Therefore, the induced currents at outputs A and B are

$$I_A = I_E + I_M$$

$$I_B = I_E - I_M$$

By calculating the vector sum and difference of these outputs, the current induced by the magnetic field can be separated from the current induced by the electric field.

$$I_E = (I_A + I_B)/2$$

$$I_M = (I_A - I_B)/2$$

C.3 Probe physical description

While there are many acceptable ways to construct a usable electromagnetic field probe, the example probe below is constructed on a 3-layer printed circuit board as shown in Figure C.2.

The sensor consists of a 0,2 mm line formed in the centre layer of the board, the two outputs of which are connected to a measurement instrument via 50 Ω strip lines. The benefits of PCB construction are the ability to incorporate a spacer to meet the 1 mm requirement, the ease of fabrication, and probe ruggedness.

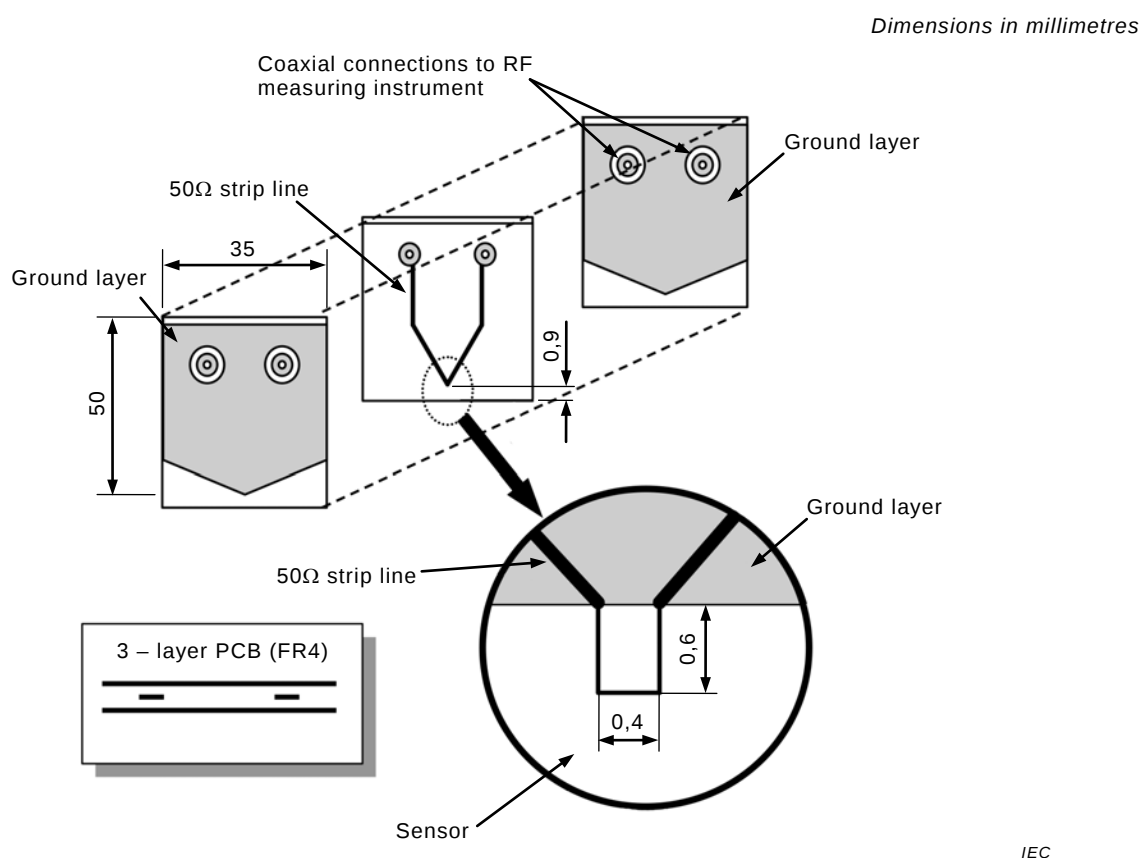


Figure C.2 – Electromagnetic field probe construction

C.4 Measurement and data acquisition system

IEC

An example data processing system is shown in Figure C.3 with details shown in Figure C.4. The 3-input RF vector signal measuring instrument is used to measure the input signal, which is down-converted to an intermediate frequency (IF) and digitised by an analogue-to-digital (A/D) converter. All input signals are synchronized using the same local oscillator and clock signal.

This ensures that the relative phase information for all three inputs is maintained. By using the relative phase information, it is possible to calculate vector sum and subtract the difference between inputs.

The data acquisition system collects the measured data and performs a Fast Fourier Transform (FFT) to derive the signal magnitude, frequency and phase information. The data can be manipulated to achieve the desired presentation.

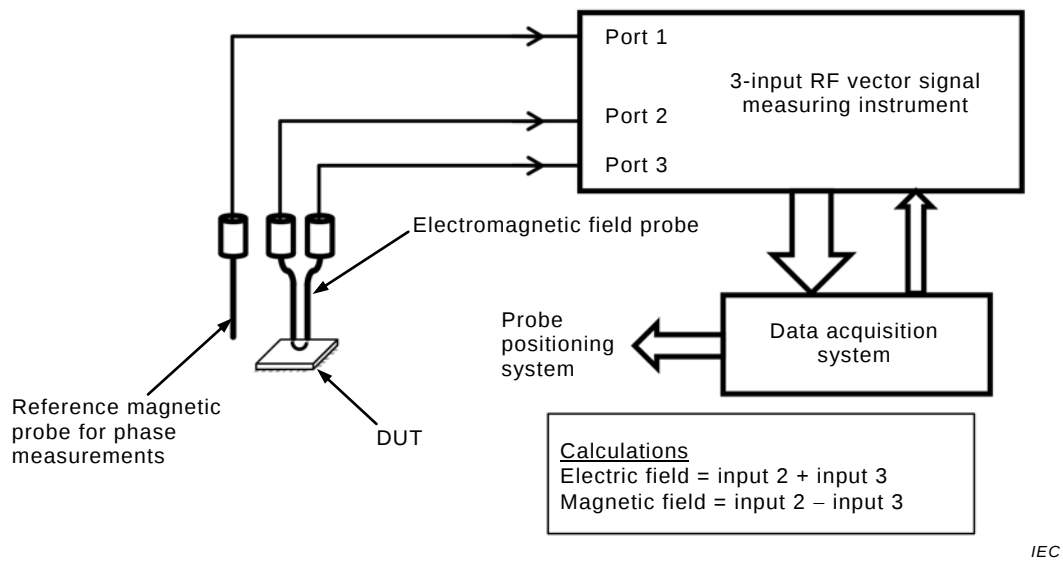


Figure C.3 – Measurement and data acquisition system overview

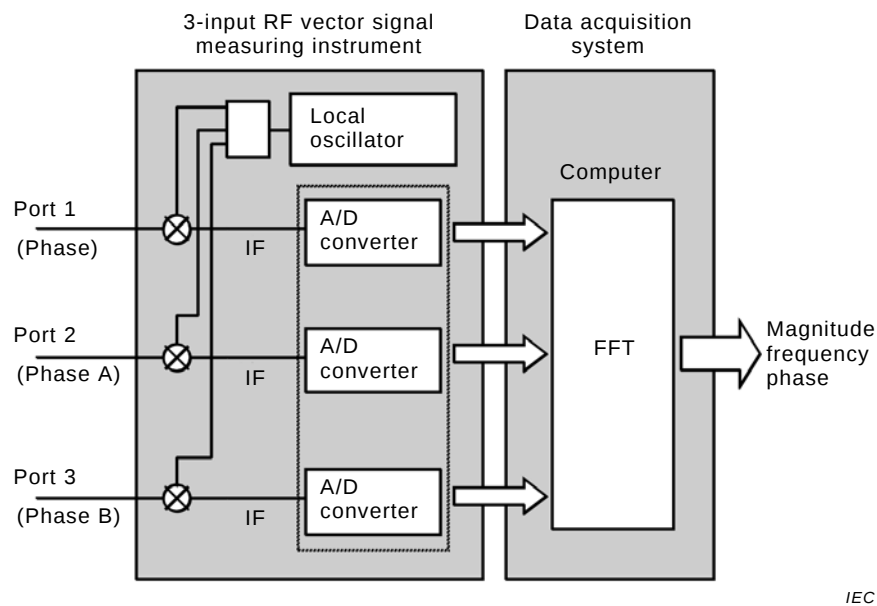


Figure C.4 – Measurement and data acquisition system detail

Annex D (informative)

Coordinate systems

D.1 General

Three coordinate systems may be used for near-field scans:

- Cartesian coordinates (x, y, z)
- Cylindrical coordinates (r, A, h)
- Spherical coordinates (r, A, B)

The most commonly used system is the Cartesian coordinate system. The coordinate system concerns not only the positioning of the probe, but also the field directions. Both the probe-positioning and the field direction shall use the same coordinate system.

As described in Clause D.5, the coordinate systems can be easily converted to another coordinate system.

D.2 Cartesian coordinate system

In order to accommodate different scan table coordinate systems, Cartesian coordinates may be either right-hand system (see Figure D.1) or left-hand system (see Figure D.2). However, the right-hand Cartesian coordinate system is preferred and shall be used whenever possible.

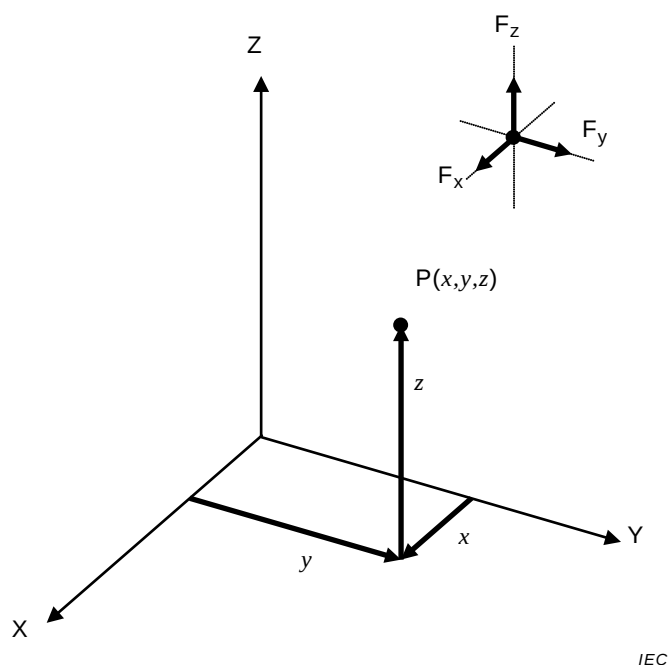


Figure D.1 – Right-hand Cartesian coordinate system (preferred)

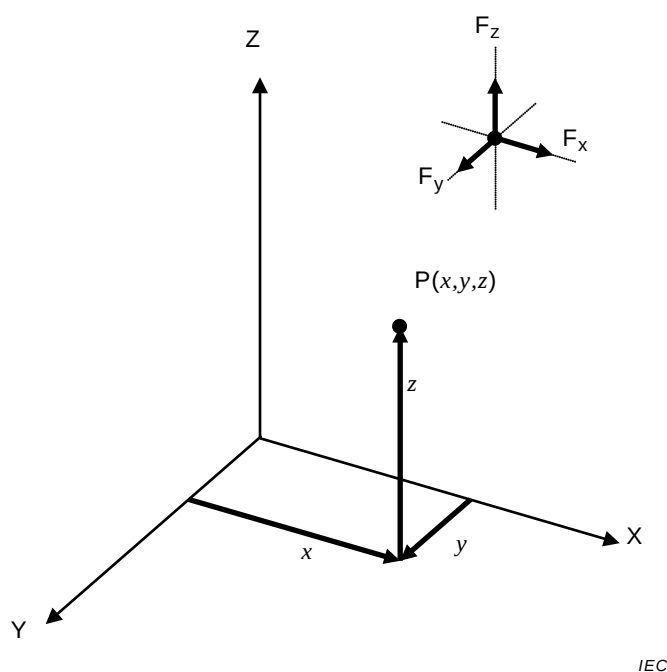


Figure D.2 – Left-hand Cartesian coordinate system

D.3 Cylindrical coordinate system

The cylindrical coordinate system assumes that, regardless of the orientation of the scan equipment, the polar plane (r , A) lies in the XY plane of a Cartesian coordinate system and that the linear axis (h) lies in the z-direction of a Cartesian coordinate system, as shown in Figure D.3.

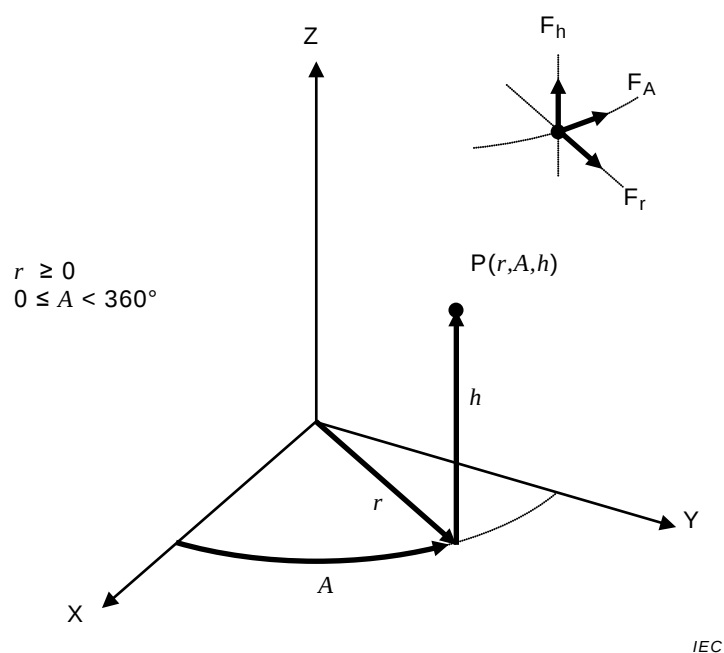


Figure D.3 – Cylindrical coordinate system

D.4 Spherical coordinate system

The spherical coordinate system assumes that, regardless of the orientation of the scan equipment, the azimuth angle (A) lies in the XY plane of a Cartesian coordinate system and that the zenith angle (B) lies between the Z -axis of a Cartesian coordinate system and the vector r , as shown in Figure D.4. In order to avoid the use of negative angle values, the zenith angle B shall be used in preference to the elevation angle (angle between the XY -plane and the vector r), which is used for antenna radiation diagrams, for example.

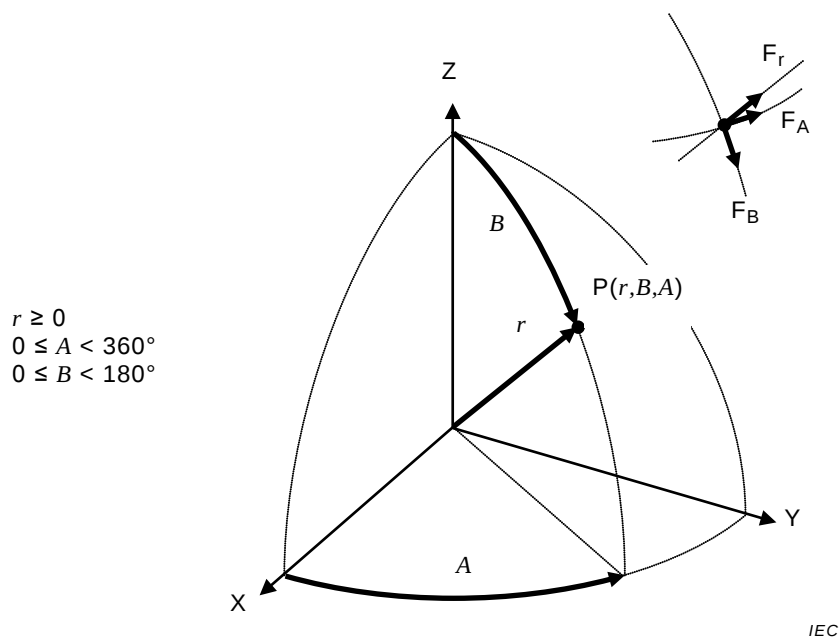


Figure D.4 – Spherical coordinate system

D.5 Coordinate system conversion

Table D.1 summarises the relationships between the coordinate systems described above.

Table D.1 – Coordinate system conversion

		To		
		Cartesian	Cylindrical	Spherical
From	Cartesian	To convert from between left- and right-hand Cartesian coordinates: $x_R = x_L, y_R = -y_L, z_R = z_L$	$r = \sqrt{x^2 + y^2}$ $A = \arctan(y/x)$ $h = z$	$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ $A = \arctan(y/x)$ $B = \arccos\left(z/\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}\right)$
	Cylindrical	$x = r \cos A$ $y = r \sin A$ $z = h$		$r_S = \sqrt{h^2 + r_C^2}$ $A_S = A_C$ $B = \arccos\left(h/\sqrt{h^2 + r_C^2}\right)$
	Spherical	$x = r \cos A \sin B$ $y = r \sin A \sin B$ $z = r \cos B$	$r_C = r_S \sin B$ $A_C = A_S$ $h = r_S \cos B$	

Bibliography

- [1] IEC 61967-6, *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz – Part 6: Measurement of conducted emissions – Magnetic probe method*
 - [2] S. Serpaud, L. Arnal, B. Ravelo, D. Baudry, "Conception Assistée par Mesure Champ Proche", Interference Technology, EMC Europe Guide 2011.
 - [3] IEC TR 61967-1-1, *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions – Part 1-1: General conditions and definitions – Near-field scan data exchange format*
 - [4] A. Boyer, C. Labussière, O. Pigaglio, J. Tao, E. Sicard et C. Lochot, "Methodology of Calibration of Miniature Near-Field Probes for Quantitative Characterization of IC Radiation", ICONIC 2005, Barcelona
 - [5] Hammerstad E.O., 1975, "Equations for Microstrip Circuit Design".
 - [6] Schneider M.V., 1968, "Microstrip Lines for Microwave Integrated Circuit".
 - [7] Wheeler H.A., 1965, "Transmission Line Properties of Parallel Strips Separated by a Dielectric Sheet".
 - [8] L. Bouchelouk, Z. Riah, D. Baudry, M. Kadi, A. Louis, B. Mazari, "Characterisation of Electromagnetic Fields Close To Microwave Devices Using Electric Dipole Probes", International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, Volume 18, Issue 2 , pp. 146 – 156, March 2008.
 - [9] D. Baudry, A. Louis, and B. Mazar, "Characterization of the Open-Ended Coaxial Probe Used for Near-Field Measurements in Emc Applications", Progress In Electromagnetics Research, PIER 60, 311–333, 2006
 - [10] Kazama S., Arai K. I., "Adjacent Electric Field and Magnetic Field Distribution Measurement System" 2002 IEEE International Symposium on EMC (Minneapolis) Record (CD-ROM), Aug. 2002
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	39
INTRODUCTION.....	41
1 Domaine d'application.....	42
2 Références normatives	42
3 Termes, définitions et abréviations	42
3.1 Termes et définitions	42
3.2 Abréviations	43
4 Généralités.....	43
5 Conditions d'essai	44
5.1 Généralités	44
5.2 Tension d'alimentation	44
5.3 Gamme de fréquences	44
6 Equipement d'essai	44
6.1 Généralités	44
6.2 Blindage	44
6.3 Appareil de mesure RF	44
6.4 Préamplificateur	45
6.5 Câbles	45
6.6 Sonde de champ proche.....	45
6.6.1 Généralités	45
6.6.2 Sonde de champ magnétique (H).....	45
6.6.3 Sonde de champ électrique (E)	45
6.6.4 Sonde de champ électrique et magnétique combiné (E/H).....	46
6.6.5 Système de positionnement de la sonde et d'acquisition des données.....	46
7 Montage de l'essai.....	47
7.1 Généralités	47
7.2 Configuration d'essai.....	47
7.3 Carte de circuit d'essai	49
7.4 Montage du logiciel du système de positionnement de sonde	49
7.5 Logiciel du DEE	50
8 Procédure d'essai.....	50
8.1 Généralités	50
8.2 Conditions ambiantes	50
8.3 Vérification opérationnelle	50
8.4 Technique d'essai	50
9 Rapport d'essai	51
9.1 Généralités	51
9.2 Conditions de mesure.....	52
9.3 Conception et étalonnage de la sonde	52
9.4 Données de mesure	52
9.5 Post-traitement	52
9.6 Echange des données.....	53
Annexe A (normative) Etalonnage des sondes de champs proches	54
A.1 Généralités	54
A.2 Equipement d'essai	56
A.2.1 Généralités	56

A.2.2	PCB avec ligne à microruban	56
A.3	Montage de l'étalonnage	58
A.4	Procédure d'étalonnage.....	58
Annexe B (informative)	Sondes discrètes de champs électrique et magnétique	62
B.1	Généralités	62
B.2	Description électrique de la sonde	62
B.3	Description physique de la sonde	63
B.3.1	Généralités	63
B.3.2	Sonde de champ électrique	63
B.3.3	Sonde de champ magnétique	63
Annexe C (informative)	Exemple de sonde de champs électrique et magnétique combinés.....	65
C.1	Généralités	65
C.2	Description électrique de la sonde	65
C.3	Description physique de la sonde	66
C.4	Système de mesure et d'acquisition de données	67
Annexe D (informative)	Système de coordonnées	70
D.1	Généralités	70
D.2	Système de coordonnées cartésiennes	70
D.3	Système de coordonnées cylindriques	71
D.4	Système de coordonnées sphériques.....	72
D.5	Conversion du système de coordonnées	72
Bibliographie		73
Figure 1	– Exemple de système de positionnement de sonde.....	47
Figure 2	– Montage de mesure RF à une entrée	48
Figure 3	– Montage de mesure RF à deux entrées avec sonde de référence	48
Figure 4	– Montage de mesure RF à deux entrées avec signal de référence	49
Figure 5	– Données superposées sur une image du DEE (graphique isobarique).....	52
Figure A.1	– Facteur d'antenne de la sonde type par rapport à la fréquence.....	56
Figure A.2	– Ligne à microruban pour l'étalonnage (section transversale)	57
Figure A.3	– Ligne à microruban pour l'étalonnage (section longitudinale).....	57
Figure A.4	– Montage d'étalonnage de la sonde	58
Figure A.5	– Direction de balayage le long de la ligne à microruban.....	59
Figure A.6	– Courbe classique du niveau de signal mesuré et de l'intensité de champ simulé (H_X)	61
Figure A.7	– Courbe classique du niveau de signal mesuré et de l'intensité de champ simulée (Hz)	61
Figure B.1	– Schémas de sondes de champs électriques et magnétiques.....	62
Figure B 2	– Exemple de construction de sonde de champ électrique (E_Z)	63
Figure B 3	– Exemple de construction de sonde de champ magnétique (H_X or H_Y)	64
Figure C 1	– Schéma de la sonde de champ électromagnétique.....	65
Figure C.2	– Fabrication de la sonde de champ électromagnétique	67
Figure C.3	– Vue d'ensemble du système de mesure et d'acquisition de données	68
Figure C.4	– Détails du système de mesure et d'acquisition de données	69
Figure D.1	– Système de coordonnées cartésiennes droite (préférable)	70

Figure D.2 – Système de coordonnées cartésiennes gauche.....	71
Figure D.3 – Système de coordonnées cylindriques.....	71
Figure D.4 – Système de coordonnées sphériques	72
Tableau A.1 – Unités linéaires du facteur d'antenne de la sonde.....	55
Tableau A.2 – Unités logarithmiques du facteur d'antenne de la sonde	55
Tableau A.3 – Dimensions pour le microruban de 50 Ω	58
Tableau D.1 – Conversion du système de coordonnées	72

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CIRCUITS INTÉGRÉS –
MESURE DES ÉMISSIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES –****Partie 3: Mesure des émissions rayonnées –
Méthode de balayage en surface**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de l'IEC est l'élaboration des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'une spécification technique

- lorsqu'en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale, ou
- lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou quand, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat.

Les spécifications techniques font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

L'IEC TS 61967-3, qui est une spécification technique, a été établie par le sous-comité 47A: Circuits intégrés, du comité d'études 47 de l'IEC: Dispositifs à semiconducteurs.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2005. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) Suppression de:
 - 9.4 Analyse des données;
 - Annexe D – Analyse des données à partir du balayage en surface de champ proche.
- b) Addition de:
 - l'Introduction
 - 9.4 Données de mesure
 - 9.5 Post-traitement
 - 9.6 Echange des données
 - Annexe D – Systèmes de coordonnées
- c) Développement de:
 - 8.4 Technique d'essai
 - Annexe A – Etalonnage des sondes de champs proches

Le texte de cette spécification technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
47A/925/DTS	47A/937/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette spécification technique.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61967, publiées sous le titre général *Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- transformée en Norme internationale,
- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Grâce aux techniques de balayage des champs proches rayonnés par des circuits intégrés et à leur environnement, on peut identifier les zones de rayonnement qui peuvent provoquer des interférences avec les appareils situés à proximité. La capacité à associer des intensités de champs magnétiques ou électriques à un emplacement particulier dans un appareil peut fournir des informations essentielles pour améliorer un CI en termes de fonctionnalités comme en termes de performances CEM.

Les techniques de balayage de champ proche ont considérablement évolué ces dernières années. L'amélioration de la sensibilité, de la bande passante et de la résolution spatiale des sondes permet d'analyser des circuits intégrés exploités dans la plage des gigahertz. L'aptitude à mesurer les rayonnements en termes de fréquence et de domaine temporel permet non seulement d'effectuer une analyse des champs générés par un CI, mais aussi de ceux générés par des perturbations appliquées en externe se propageant à travers l'appareil. Le post-traitement peut améliorer considérablement la résolution d'une mesure de balayage de champs proches, et les données mesurées peuvent être représentées de différentes manières, au choix de l'utilisateur.

CIRCUITS INTÉGRÉS – MESURE DES ÉMISSIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES –

Partie 3: Mesure des émissions rayonnées – Méthode de balayage en surface

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61967 fournit une procédure d'essai qui définit une méthode d'évaluation des composants de champs proches électriques, magnétiques ou électromagnétiques émis à la surface ou près de la surface d'un circuit intégré (CI). Cette procédure de diagnostic est destinée à l'analyse architecturale du CI telle que la gestion de couches et l'optimisation de la distribution de puissance. Cette procédure d'essai s'applique aux mesures effectuées sur un CI monté sur tout circuit imprimé accessible à la sonde de balayage. Il est dans certains cas utile de balayer l'environnement en plus du CI. Pour la comparaison des émissions de balayage en surface entre différents CI, il convient d'utiliser la carte d'essai normalisée définie dans l'IEC 61967-1.

Cette méthode de mesure fournit un mapping des émissions de champs proches électriques ou magnétiques émis à la surface du CI. La résolution de la mesure est déterminée par l'aptitude de la sonde de mesure et la précision du système de positionnement de la sonde. Cette méthode est destinée à une utilisation jusqu'à 6 GHz. L'extension de la limite supérieure de la fréquence est possible avec la technologie actuelle en matière de sondes, mais cela n'entre pas dans le domaine d'application de la présente spécification. Les mesures peuvent être effectuées dans le domaine de fréquence ou le domaine temporel.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International* (disponible sur <http://www.electropedia.org>)

IEC 61967-1, *Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques, 150 kHz à 1 GHz – Partie 1: Conditions générales et définitions*

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 61967-1, l'IEC 60050-131 et l'IEC 60050-161, ainsi que les termes et définitions suivants, s'appliquent.

3.1.1

altitude

distance entre l'extrémité de la sonde de champ proche et le plan de référence du mapping (par exemple, PCB, surface supérieure du boîtier)

Note 1 à l'article: Dans le présent document, le terme "altitude" se rapporte au sens vertical dans un système de coordonnées cartésiennes (axe Z).

3.1.2

facteur d'antenne de la sonde

rapport entre l'intensité d'un champ électrique ou magnétique mesurée à un emplacement donné lors d'une évaluation de champs proches et le niveau de signal mesuré à la connexion de sortie ou appliqué à la connexion d'entrée d'une sonde

3.1.3

résolution spatiale

aptitude d'une sonde à distinguer un champ mesuré entre deux points

3.2 Abréviations

DEE: dispositif en essai

NFS: near field scan, balayage de champ proche

PCB: printed circuit board, carte de circuit imprimé

4 Généralités

Les champs électriques et magnétiques mesurés par balayage de la surface du circuit intégré (CI) fournissent des informations sur l'intensité relative des sources d'émission à l'intérieur du boîtier du CI. Il permet d'effectuer des comparaisons entre différentes architectures afin de faciliter les réductions des émissions RF du CI. La configuration des champs électriques et magnétiques sur la surface du CI est liée au potentiel de rayonnement électromagnétique du CI et du module électronique dont il fait partie. Cependant, cette procédure a pour objet de fournir une mesure comparative des CI et non de prévoir des niveaux de champ lointain pour le CI ou pour son circuit imprimé.

La caractérisation d'un CI implique l'acquisition d'une série de mesures d'amplitude et/ou de phase à des fréquences ou des instants de temps spécifiques. Chaque balayage sur une puce ou un boîtier collecte une grande quantité de données, qui dépend du nombre d'emplacements balayés et du nombre de fréquences ou d'instants de temps mesurés à chaque emplacement. En raison de la précision et de la quantité exigées des données mesurées, cette méthode d'essai utilise un positionnement de la sonde contrôlé par ordinateur et un système d'essai afin d'obtenir des données de sonde précises et reproductibles. Le logiciel de contrôle doit être préparé ou adapté pour contrôler les moteurs pas-à-pas de précision optique généralement utilisés dans de tels systèmes. Cette méthode exige également une analyse et un traitement d'une quantité importante de données, généralement réalisés par des programmes de logiciels dédiés. La durée de balayage dépend du nombre de fréquences ou d'instants de temps, du nombre d'emplacements mesurés et des capacités du système de recueil de données.

En raison du vaste ensemble de technologies en matière de CI, de boîtiers et de leurs dimensions physiques, le présent document ne spécifie pas les conceptions pour le système de positionnement de la sonde ou pour la sonde de champ proche. Les conceptions du système de positionnement et de la sonde dépendent de la gamme de fréquences de mesure souhaitée, de la résolution spatiale, du type de champ et des caractéristiques des composants disponibles (tels que les moteurs pas-à-pas).

La résolution spatiale dépend des dimensions physiques et de la construction de la sonde. Si la résolution spatiale est connue, elle doit être incluse dans le rapport d'essai.

L'altitude de la sonde au-dessus de la surface du CI n'est pas spécifiée. La hauteur réelle de la sonde doit être incluse dans le rapport d'essai.

La taille de pas de la position de la sonde doit être choisie de manière à utiliser entièrement la résolution spatiale tout en limitant le nombre de points de mesure. La taille de pas peut être

inférieure à des endroits particuliers de la puce ou du boîtier pour une meilleure résolution. Grâce au post-traitement des données à des fins d'amélioration de la résolution, la résolution spatiale lors de la mesure peut être réduite, ce qui permet une taille de pas plus grande.

5 Conditions d'essai

5.1 Généralités

Les conditions d'essai doivent satisfaire aux exigences de l'IEC 61967-1. Les conditions d'essai suivantes doivent également s'appliquer.

5.2 Tension d'alimentation

Il convient que la tension d'alimentation soit conforme à la spécification du fabricant du CI. Si l'utilisateur utilise une autre tension, cela doit être documenté dans le rapport d'essai.

5.3 Gamme de fréquences

Une gamme de fréquences effective de cette procédure de mesure des émissions rayonnées est comprise entre 150 kHz et 6 GHz. Si une seule sonde n'est pas capable de couvrir toute la plage de fréquences, la plage de fréquences peut être divisée en sous-plages pour permettre l'utilisation de plusieurs sondes, en fonction de chaque sous-plage de fréquence individuelle.

6 Equipement d'essai

6.1 Généralités

L'équipement d'essai doit satisfaire aux exigences énoncées dans l'IEC 61967-1. Les exigences suivantes de l'équipement d'essai doivent également s'appliquer.

6.2 Blindage

Il convient d'utiliser un câble coaxial doublement blindé ou semi-rigide pour les branchements intermédiaires entre la sonde et l'équipement de mesure. Selon les conditions ambiantes locales, il peut également être nécessaire de réaliser les mesures dans une salle blindée.

6.3 Appareil de mesure RF

L'appareil de mesure RF utilisé pour cette méthode d'essai dépend du type de sonde choisie et du fait que les informations de phase ou de temps doivent être acquises ou non. Lorsqu'une sonde de champ électrique ou magnétique est utilisée et que seule l'amplitude des émissions est mesurée, un appareil à une entrée tel qu'un analyseur de spectre, un récepteur EMI (ElectroMagnetic Interference) ou un oscilloscope doit être utilisé. Pour les mesures de domaine temporel, un oscilloscope peut être utilisé.

Lorsqu'une sonde de champ électrique ou magnétique est utilisée pour mesurer à la fois l'amplitude des émissions et la phase, un appareil à deux entrées tel qu'un appareil de mesure du signal vectoriel doit être utilisé.

NOTE Pour mesurer la phase et l'amplitude à l'aide d'un appareil de mesure du signal vectoriel, l'entrée de référence (R) et une autre entrée (A ou B) sont utilisées. Les ports de paramètres S ne peuvent pas être utilisés de manière générale pour cette mesure.

La largeur de bande de résolution de l'analyseur de spectre ou du récepteur doit être ajustée dans le but de garantir une marge de bruit suffisante (supérieure à 6 dB) tout en permettant un temps de balayage adéquat, selon la procédure d'essai choisie. La largeur de bande vidéo ne doit pas faire moins de trois fois la largeur de bande de résolution. La largeur de bande de résolution et la largeur de bande vidéo doivent être décrites dans le rapport d'essai.

6.4 Préamplificateur

Un préamplificateur à gain élevé et faible bruit peut être utilisé pour augmenter la sensibilité ou satisfaire aux exigences ambiantes données en 8.2. Afin d'obtenir le plus faible bruit de fond pour les mesures, le préamplificateur doit être branché à la sonde avec le câble le plus court possible. Il convient d'inclure ses caractéristiques (par exemple, gain, figure de bruit, etc.) dans le rapport d'essai.

Les sondes de champ proche présentent généralement un très mauvais coefficient de réflexion. Si la sonde ne présente pas une adaptation d'impédance satisfaisante, le gain et la figure de bruit du système seront modifiés. Afin d'éliminer tout effet indésirable (par exemple, oscillations ou endommagement du préamplificateur), on doit choisir le préamplificateur en s'intéressant plus particulièrement à sa stabilité dans l'environnement de montage de balayage de champ proche.

6.5 Câbles

Le mouvement de balayage de la sonde exige que soient utilisés des câbles flexibles entre certains éléments du montage. On doit veiller à choisir des câbles durables pour garantir le mouvement de balayage de la sonde et maintenir des performances de fréquence élevées. Il convient que les pertes de câbles en tant que fonction de la fréquence soient incluses dans le rapport d'essai.

A cause des mouvements répétés des câbles, qui peuvent accélérer leur détérioration, un étalonnage des câbles doit être effectué régulièrement. Lorsque la fréquence d'essai est supérieure à 1 GHz ou lorsque des mesures de phase doivent être réalisées, les câbles doivent être étalonnés avant chaque essai.

6.6 Sonde de champ proche

6.6.1 Généralités

Les sondes de champ proche utilisées pour le balayage en surface peuvent prendre de nombreuses formes en fonction des préférences des utilisateurs, du type de champ à mesurer, des capacités de l'appareil de mesure et de la résolution spatiale souhaitée de la mesure. L'étalonnage de la sonde est décrit à l'Annexe A. Certaines sondes ne reçoivent un champ que dans une direction particulière. Pour recevoir des champs dans plusieurs directions, il est nécessaire de changer la sonde ou de la faire tourner pendant le processus de balayage. Une brève description de la ou des sondes utilisées pour la mesure doit être incluse dans le rapport d'essai. D'autres types de sondes de champ proche font l'objet d'une discussion ci-après.

NOTE Les structures des sondes magnétiques et/ou électriques sont illustrées aux Annexes B et C. Néanmoins, la gamme de fréquences applicable dépend de la structure de la sonde et de la méthode d'étalonnage.

6.6.2 Sonde de champ magnétique (H)

Pour les mesures du champ magnétique, une sonde de boucle magnétique miniature monotour est souvent utilisée. La sonde type est composée d'un fil, d'un câble coaxial, de conducteurs de PCB ou de tout autre matériau adapté. Un exemple de sonde de champ magnétique est présenté à l'Annexe B et dans l'IEC 61967-6 [1]¹.

6.6.3 Sonde de champ électrique (E)

Pour les mesures du champ électrique, une sonde de champ électrique miniature est généralement utilisée. La sonde peut être composée de fil, d'un câble coaxial, de conducteurs

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

de PCB ou de tout autre matériau adapté. Un exemple de sonde de champ électrique est présenté à l'Annexe B.

6.6.4 Sonde de champ électrique et magnétique combiné (E/H)

Pour les mesures de champs électriques et magnétiques combinés, une sonde de boucle magnétique miniature monotour est généralement utilisée. La sonde peut être composée de fil, d'un câble coaxial, de conducteurs de carte de circuit imprimé ou de tout autre matériau adapté. Un exemple de sonde de champ électromagnétique est présenté à l'Annexe C.

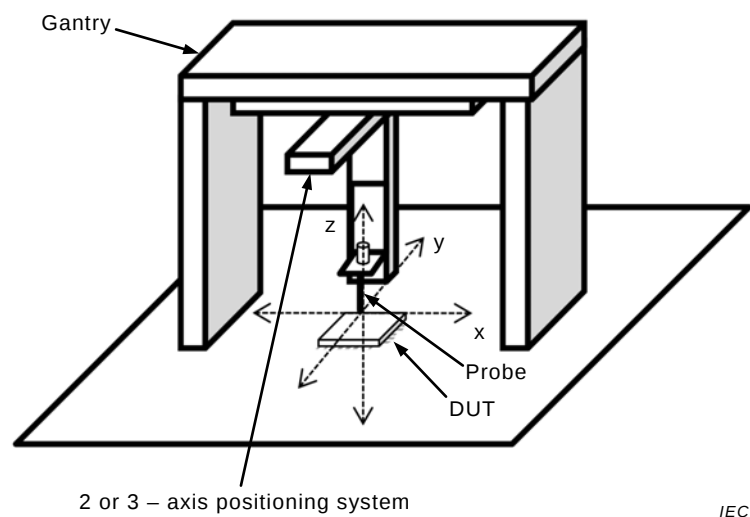
6.6.5 Système de positionnement de la sonde et d'acquisition des données

Un système de positionnement de sonde précis et un système d'acquisition de données sont exigés. Le système de positionnement de la sonde doit être capable de déplacer la sonde sur au moins deux axes (parallèles à la surface du DEE) et doit être capable de positionner la sonde avec un pas mécanique au moins dix fois inférieur à la taille de pas minimale exigée. Même si la présente spécification décrit l'utilisation du balayage en coordonnées cartésiennes (X, Y et éventuellement l'axe Z), on peut également procéder à des balayages polaires et cylindriques. L'Annexe D définit les trois systèmes de coordonnées, ainsi que la manière dont les informations de position peuvent être converties entre elles. Lorsque des coordonnées cartésiennes sont utilisées, le système droite est utilisé de préférence. Si le système gauche est utilisé, il doit être inclus dans le rapport d'essai. Dans certains cas, le système de positionnement de la sonde dispose d'une structure mécanique qui fait tourner la sonde afin d'ajuster son orientation. Ce système peut être contrôlé par le système d'acquisition des données.

La position x, y et z de la sonde de champ proche peut ne pas être alignée après la rotation. Il convient de veiller à compenser le décalage qui en résulte en repositionnant la sonde.

Un exemple de système de positionnement de la sonde est donné à la Figure 1. Bien qu'il n'apparaisse pas dans la Figure 1, le DEE est installé sur une PCB généralement montée sur un dispositif d'essai afin d'améliorer la stabilité.

Le système d'acquisition de données est généralement un ordinateur équipé d'un logiciel adapté pour accepter les paramètres de balayage souhaités, contrôler l'appareil de mesure, contrôler le système de balayage de la sonde et acquérir les données. Les configurations du système et le logiciel de contrôle doivent être décrits dans le rapport d'essai.



Légende	
Anglais	Français
Gantry	Pont
Probe	Sonde
2 or 3-axis positioning system	Système de positionnement à 2 ou 3 axes
DUT	DEE

Figure 1 – Exemple de système de positionnement de sonde

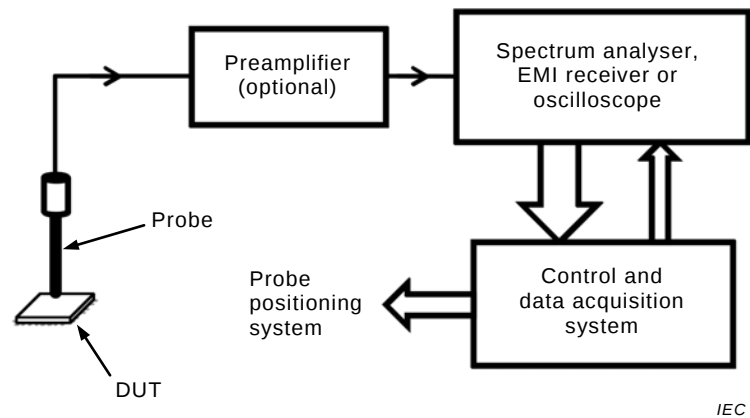
7 Montage de l'essai

7.1 Généralités

Le montage d'essai doit satisfaire aux exigences décrites dans l'IEC 61967-1. Les exigences de montage de l'essai suivantes doivent également s'appliquer.

7.2 Configuration d'essai

Les montages d'essai généraux sont illustrés dans les Figures 2, 3 et 4.

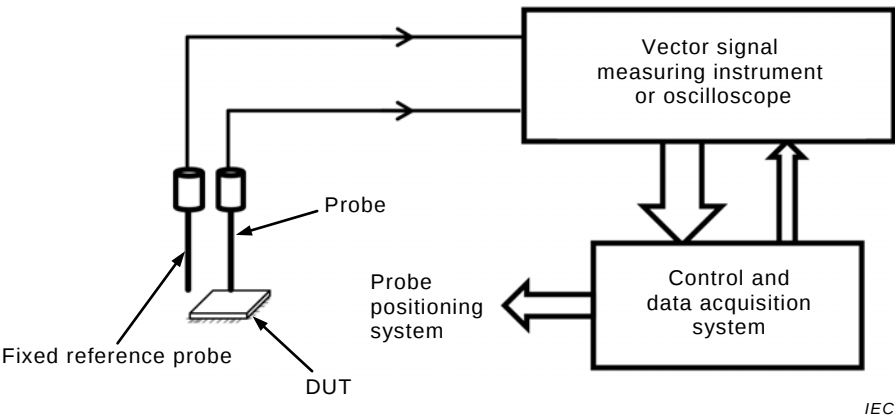


Légende	
Anglais	Français
Preamplifier (Optional)	Préamplificateur (en option)

Anglais	Français
Spectrum analyser, EMI receiver or oscilloscope	Analyseur de spectre, récepteur EMI ou oscilloscope
Probe positioning system	Système de positionnement de sonde
Control and data acquisition system	Système de contrôle et d'acquisition de données
Probe	Sonde
DUT	DEE

Figure 2 – Montage de mesure RF à une entrée

Le montage de la Figure 2 permet la mesure d'amplitude seulement. Le montage des Figures 3 et 4 permet les mesures d'amplitude avec la phase ou les mesures dans le domaine temporel.

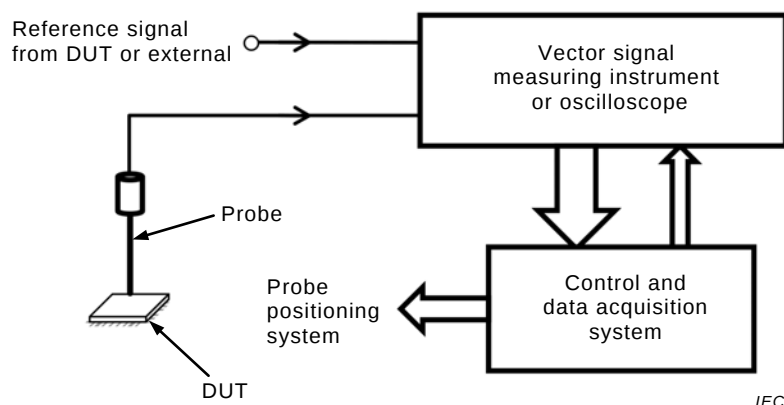


Légende

Anglais	Français
Vector signal measuring instrument or oscilloscope	Oscilloscope ou instrument de mesure du signal vectoriel
Probe positioning system	Système de positionnement de sonde
Control and data acquisition system	Système de mesure et d'acquisition de données
Probe	Sonde
Fixed reference probe	Sonde de référence fixe
DUT	DEE

Figure 3 – Montage de mesure RF à deux entrées avec sonde de référence

Pour les mesures de phase ou de domaine temporel, l'utilisation d'un signal de référence est exigée. Ce signal peut être appliqué en externe sur une broche de l'appareil, en sortie de l'appareil via une broche ou être capturé au moyen d'une sonde auxiliaire stationnaire.



Légende

Anglais	Français
Reference signal from DEE or external	Signal de référence du DEE ou externe
Vector signal measuring instrument or oscilloscope	Oscilloscope ou instrument de mesure du signal vectoriel
Probe positioning system	Système de positionnement de sonde
Control and data acquisition system	Système de mesure et d'acquisition de données
Probe	Sonde
DUT	DEE

Figure 4 – Montage de mesure RF à deux entrées avec signal de référence

Les informations de phase sont nécessaires pour calculer la répartition de courant sur le DEE (voir 9.5). Si seule l'amplitude du champ rayonné est exigée, les informations de phase ne sont pas nécessaires.

7.3 Carte de circuit d'essai

La carte de circuit d'essai, sur laquelle le DEE est monté et balayé, peut être n'importe quelle carte à laquelle la sonde de balayage a accès. Si les CI doivent être évalués à des fins de comparaison, ils doivent être soumis à des essais sur des PCB identiques. Le PCB peut être un PCB d'application ou une carte de circuit d'essai normalisée conçue conformément à l'IEC 61967-1.

La carte de circuit d'essai doit être fermement installée dans le système de positionnement de la sonde afin d'améliorer la reproductibilité de l'essai. Cela doit être fait par l'utilisation d'un dispositif d'essai avec un impact limité sur le champ rayonné.

7.4 Montage du logiciel du système de positionnement de sonde

Une fois que le DEE et sa PCB d'essai sont montés, vérifier que le logiciel du système de positionnement de la sonde est configuré pour les paramètres de balayage souhaités, en particulier pour la zone à balayer souhaitée. Vérifier qu'il n'y a pas d'obstacle susceptible d'endommager la sonde dans la zone de balayage souhaitée. Certains logiciels de balayage exigent des points de référence pour compenser les erreurs d'alignement, les décalages d'origine, etc., mais aussi pour améliorer la reproductibilité des mesures. Des caméras, des lasers et tout autre artifice similaire peuvent être utilisés pour aider à l'alignement. Des images du DEE peuvent également être enregistrées et utilisées en arrière-plan des mesures de champs (voir 9.4). Une brève description de ces procédures doit être incluse dans le rapport d'essai.

7.5 Logiciel du DEE

Le logiciel approprié doit être mis en œuvre dans le DEE lors de la mesure pour satisfaire aux exigences de l'IEC 61967-1. La description du logiciel doit être incluse dans le rapport d'essai.

8 Procédure d'essai

8.1 Généralités

La procédure d'essai doit être conforme à l'IEC 61967-1, à l'exception des modifications incluses ici. Ces conditions d'essai par défaut sont destinées à assurer un environnement d'essai cohérent. Si les utilisateurs de cette procédure sont d'accord sur d'autres conditions, elles doivent être documentées dans le rapport d'essai.

8.2 Conditions ambiantes

Le niveau de bruit ambiant RF doit être mesuré afin d'établir le plancher de bruit du montage d'essai. Seuls les résultats de mesure, au moins 6 dB au-dessus du bruit de fond, sont considérés fiables. Le DEE doit être installé dans le montage d'essai, tel qu'utilisé pour les essais. Le DEE ne doit pas être activé (par exemple tension d'alimentation déconnectée). L'équipement d'essai doit être réglé pour une analyse opérationnelle. Une analyse doit être effectuée pour mesurer le bruit ambiant, et les résultats doivent être décrits dans le rapport d'essai.

Lorsque le niveau de bruit ambiant RF est excessif, l'intégrité du système de mesure global (en particulier les câbles d'interconnexion et les connecteurs) doit être vérifiée. Si nécessaire, une cage de Faraday, un préamplificateur de bruit inférieur et/ou de gain plus élevé ou une largeur de bande de résolution plus étroite doivent être utilisés.

8.3 Vérification opérationnelle

Le DEE doit être mis sous tension et on doit procéder à une vérification opérationnelle afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'appareil (c'est-à-dire exécution du code d'essai du CI).

8.4 Technique d'essai

Avec la carte d'essai du CI sous tension et le DEE mis en fonctionnement dans le mode d'essai prévu, mesurer le niveau de signal à la borne de sortie de la sonde à chaque fréquence, emplacement et direction de champ souhaités.

La procédure utilisée dépendra de la configuration du DEE, de l'équipement d'essai, du système de positionnement, du système d'acquisition des données et des préférences des utilisateurs. Par exemple, on peut positionner la sonde à un emplacement spécifique, mesurer les données à une série de fréquences et ensuite passer à l'emplacement suivant. Toutefois, il peut être préférable de mesurer les données à une fréquence spécifique sur la surface totale avant de changer la fréquence de mesure et de balayer à nouveau la surface totale.

A un emplacement spécifique, la mesure peut être effectuée à une fréquence spécifique (par exemple, l'analyseur de spectre exploité à une fréquence fixe unique ou en mode "zéro plage de balayage") ou sur une bande de fréquences balayées par le récepteur ou l'analyseur de spectre (par exemple, mode fréquence central/plage de balayage ou mode fréquence de début de balayage/fréquence de fin de balayage). On doit veiller à choisir une bande de fréquences balayées, une largeur de bande de résolution, une largeur de bande vidéo et un temps de balayage de manière à effectuer un cycle de fonctionnement complet du CI.

Lors de l'utilisation d'un analyseur de spectre, activer la fonction "Max Hold" et laisser l'analyseur effectuer un minimum de trois balayages pendant l'exécution du cycle de fonctionnement du CI. Il convient que le temps de balayage soit bien supérieur au temps de

cycle de fonctionnement du CI pour garantir la capture de tous les événements prévus (pulsations, salves, etc.).

NOTE Le réglage "Max Hold" sur un analyseur de spectre maintient le niveau maximal de chaque point de données de conducteur et met à jour chaque point si un nouveau niveau maximal est détecté lors de balayages successifs.

Lors de l'utilisation d'un récepteur, rester à chaque emplacement d'essai pendant une durée supérieure ou égale à six fois le temps de cycle de fonctionnement du CI et enregistrer le niveau maximal détecté.

Lors de l'utilisation d'un analyseur de réseau vectoriel pour les mesures de phase et d'amplitude, ajuster les paramètres (largeur de bande de résolution, moyennage, temps de balayage, etc.) de manière à obtenir des précisions de mesure optimales selon le type de mesure réalisée.

Lors de l'utilisation d'un oscilloscope pour les mesures de domaine temporel, ajuster les paramètres (fréquence d'échantillonnage, conditions de déclenchement, temps de balayage, utilisation de filtres, etc.) de manière à obtenir les précisions et le temps de mesure souhaités. Ces paramètres doivent être inclus dans le rapport d'essai.

Dans le cas d'une sonde capable de mesurer une seule direction de champ, on peut la faire pivoter automatiquement à chaque emplacement pour procéder à la mesure, par exemple, du champ X et du champ Y. Si la rotation est manuelle, il est courant de balayer la surface totale en plaçant la sonde dans une position et en la faisant pivoter de 90 ° avant de procéder à un nouveau balayage de la surface. On utilise une procédure similaire lorsque la sonde doit être changée pour passer, par exemple, d'un champ mesuré dans le plan XY à un champ du plan Z. Dans tous les cas, on doit veiller à ce que les différentes sondes soient correctement orientées et positionnées par rapport au DEE.

Il est également possible de faire pivoter la sonde à chaque emplacement pour trouver le champ maximal (par exemple, dans le plan XY). L'angle du champ est alors inclus dans le rapport d'essai.

Les balayages peuvent être effectués sur un plan parallèle ou perpendiculaire à la surface du CI ou sur une série de plans afin de former un mapping en trois dimensions. La fréquence de mesure peut être variée afin d'évaluer la dépendance de fréquences du motif de source d'émission du DEE. La distance entre les différents plans d'essai et la surface du CI peut être modifiée afin de créer un mapping en trois dimensions du motif d'émission du CI. Le plan balayé et la progression pas-à-pas de la sonde peuvent être déterminés de manière arbitraire aux fins de mesure. Bien que les balayages soient habituellement effectués à une altitude constante au-dessus du DEE, ils peuvent également suivre les contours du DEE et la zone qui l'entoure.

Le système d'acquisition de données stocke le niveau de signal mesuré à la sortie de la sonde à chaque emplacement, orientation de la sonde et fréquence. Le post-traitement peut prendre en compte les gains, les pertes et les déphasages engendrés par un préamplificateur et les câbles. Les données d'étalonnage de la sonde peuvent permettre la conversion du niveau de signal mesuré en intensité de champ magnétique ou électrique.

9 Rapport d'essai

9.1 Généralités

Le rapport d'essai doit satisfaire aux exigences de l'IEC 61967-1. Les exigences de rapport d'essai suivantes doivent également s'appliquer.

9.2 Conditions de mesure

Toutes les conditions de mesure doivent être documentées dans le rapport d'essai. Les conditions de mesure types comprennent la fréquence de balayage, la zone de balayage, l'altitude de la sonde de balayage, la taille de pas de balayage et l'orientation de la sonde. Toutes les informations utiles sur le logiciel d'acquisition des données et les aides à l'alignement peuvent également être incluses.

9.3 Conception et étalonnage de la sonde

La conception physique de la sonde, la procédure d'étalonnage et les données d'étalonnage doivent être décrites dans le rapport d'essai.

9.4 Données de mesure

La quantité de données acquises lors des mesures de balayage de champs proches peut être très importante et difficile à visualiser et analyser. Afin de fournir des informations pertinentes concernant le rayonnement en champ proche du DEE, la mesure du niveau de signal ou de l'intensité de champ peut être représentée sous la forme d'un graphique isobarique en échelle de gris ou de couleurs. La matrice de données peut être superposée sur une image du DEE, ce qui facilite la localisation des différentes zones à forte puissance de signal. La Figure 5 présente deux exemples de matrices de données.

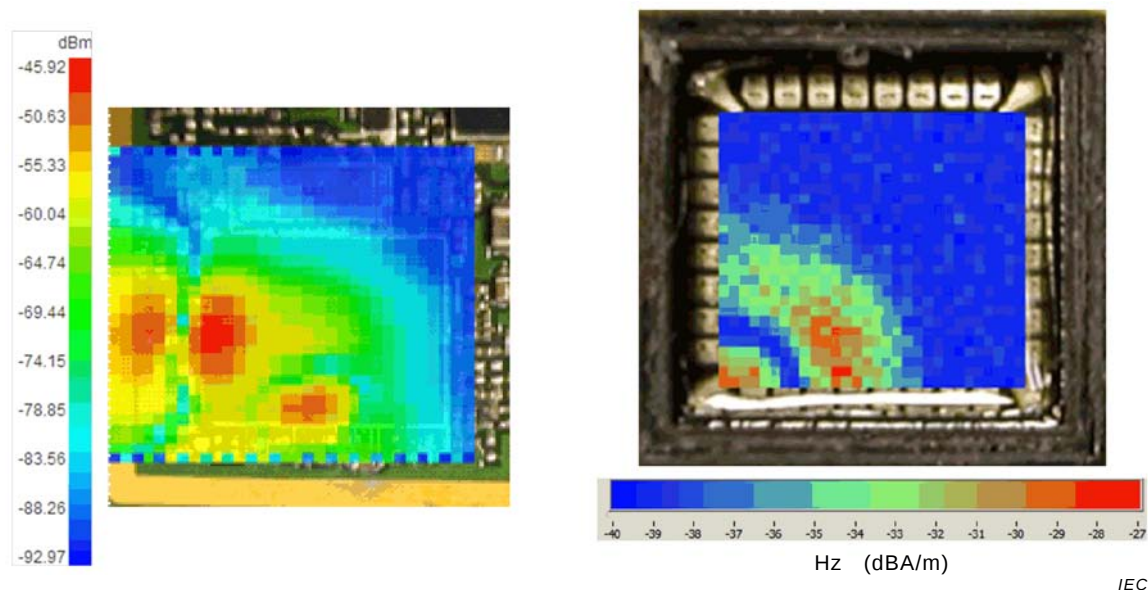


Figure 5 – Données superposées sur une image du DEE (graphique isobarique)

Les données de mesure peuvent également être incluses sous la forme de graphiques, de tableaux ou de toute autre représentation permettant à l'utilisateur d'apprécier les résultats.

9.5 Post-traitement

Le post-traitement des données de balayage de champ proche peut considérablement améliorer la résolution et l'affichage, mais aussi réduire la durée d'acquisition des données. De nombreuses possibilités sont décrites dans des publications, notamment [2].

Tout post-traitement appliqué aux données doit être décrit avec, le cas échéant, des références à des logiciels ou à une bibliographie spécifiques.

9.6 Echange des données

Afin de faciliter l'échange de données entre les utilisateurs, il convient d'utiliser le format XML décrit dans l'IEC TR 61967-1-1 [3].

Annexe A (normative)

Etalonnage des sondes de champs proches

A.1 Généralités

L'étalonnage d'une sonde compense les variations de sensibilité avec la fréquence et permet la conversion du niveau de signal mesuré à sa sortie en intensité de champ magnétique ou électrique. Le niveau du signal mesuré et l'intensité du champ sont liés par le facteur d'antenne de la sonde. Les équations suivantes sont possibles et sont toutes communément utilisées. La présente spécification n'a pas pour intention d'imposer l'une ou l'autre; toutes sont donc décrites.

Lors de la mesure d'une tension ou d'un courant à la sortie de la sonde, le facteur d'antenne de la sonde peut être calculé à partir de l'une des équations suivantes:

$$F_{PA} = \frac{M_F}{F} \quad (\text{A.1})$$

$$\text{ou } F_{PB} = \frac{F}{M_F} \quad (\text{A.2})$$

où:

F_{PA} et F_{PB} sont les facteurs d'antenne de la sonde;

M_F est le niveau de signal mesuré en volts (V) ou en ampères (A);

F est l'intensité du champ en volts par mètre (V/m) ou en ampères par mètre (A/m);

F_{PA} et F_{PB} sont de simples réciproques l'un de l'autre.

Lorsque la puissance à la sortie de la sonde est mesurée, les équations qui permettent de calculer le facteur d'antenne de la sonde deviennent:

$$F_{PC} = \frac{M_F}{F^2} \quad (\text{A.3})$$

$$\text{ou } F_{PD} = \frac{F^2}{M_F} \quad (\text{A.4})$$

où:

F_{PC} et F_{PD} sont les facteurs d'antenne de la sonde;

M_F est le niveau de signal mesuré en watts (W);

F est l'intensité du champ en volts par mètre (V/m) ou en ampères par mètre (A/m);

F_{PC} et F_{PD} sont de simples réciproques l'un de l'autre.

Le facteur d'antenne de la sonde peut aussi être exprimé en dB.

La relation applicable peut être facilement reconnue par les unités dans lesquelles le facteur d'antenne de la sonde s'exprime. Le Tableau A.1 et le Tableau A.2 montrent les combinaisons d'unités autorisées. Afin d'éviter toute confusion, il convient de ne pas utiliser les facteurs d'échelle (k, m, μ , etc.). L'utilisation de parenthèses dans les unités permet d'éviter toute confusion avec d'autres unités (par exemple, dBm pour dB milliwatt et dB(m) pour dB mètre).

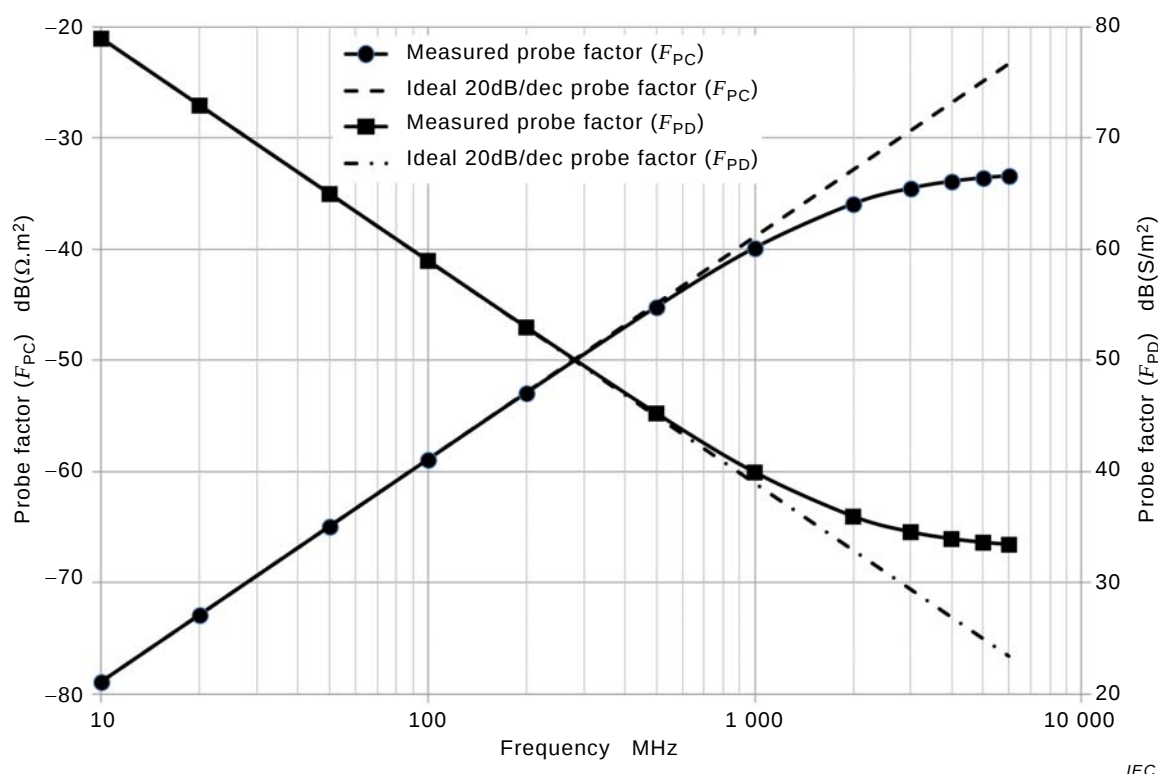
Tableau A.1 – Unités linéaires du facteur d'antenne de la sonde

Facteur d'antenne de la sonde		F_{PA} ou F_{PC}		F_{PB} ou F_{PD}	
Unités d'intensité du champ (F)		A/m	V/m	A/m	V/m
Unités du signal mesuré (M_F)	V	$\Omega \cdot m$ (A.1)	m (A.1)	S/m (A.2)	1/m (A.2)
	A	m (A.1)	S·m (A.1)	1/m (A.2)	Ω/m (A.2)
	W	$\Omega \cdot m^2$ (A.3)	S·m ² (A.3)	S/m ² (A.4)	Ω/m^2 (A.4)
NOTE Le nombre entre parenthèses fait référence à l'équation appropriée.					

Tableau A.2 – Unités logarithmiques du facteur d'antenne de la sonde

Facteur d'antenne de la sonde		F_{PA} ou F_{PC}		F_{PB} ou F_{PD}	
Unités d'intensité du champ (F)		dB A/m	dB V/m	dB A/m	dB V/m
Unités du signal mesuré (M_F)	dBV	dB($\Omega \cdot m$) (A.1)	dB(m) (A.1)	dB(S/m) (A.2)	dB(1/m) (A.2)
	dB A	dB(m) (A.1)	dB(S·m) (A.1)	dB(1/m) (A.2)	dB(Ω/m) (A.2)
	dBW	dB($\Omega \cdot m^2$) (A.3)	dB(S·m ²) (A.3)	dB(S/m ²) (A.4)	dB(Ω/m^2) (A.4)
NOTE Le nombre entre parenthèses fait référence à l'équation appropriée.					

Pour un balayage d'émissions, la sonde mesure le champ (électrique ou magnétique) qui l'entoure. La distance par rapport à la source n'a pas d'incidence. Le facteur d'antenne de la sonde se définit donc en fonction de la fréquence. Il convient de veiller à inclure un nombre suffisant de fréquences pour décrire de façon précise la caractéristique. La Figure A.1 illustre une représentation classique du facteur d'antenne de la sonde (tension mesurée à la sortie de la sonde) par rapport à la fréquence. A basses fréquences, la pente de la caractéristique est de 20 dB/décade, mais le facteur d'antenne de la sonde dévie des valeurs théoriques à hautes fréquences.



Légende

Anglais	Français
Probe factor	Facteur d'antenne de la sonde
Frequency	Fréquence

Figure A.1 – Facteur d'antenne de la sonde type par rapport à la fréquence

Les fournisseurs peuvent apporter des données d'étalonnage avec la sonde. Dans ce cas, l'étalonnage réalisé à l'aide de la méthode décrite ci-dessous n'est pas exigé. La vérification doit toutefois avoir lieu régulièrement à l'aide de la méthode suivante.

Les sondes utilisées pour la mesure doivent être étalonnées conformément à la procédure décrite ci-dessous. Afin d'obtenir le facteur d'antenne de la sonde, une méthode de ligne à microruban est utilisée parce qu'elle simule de la façon la plus précise la mesure réelle [4]. La méthode consiste à mesurer le niveau de signal à la sortie de la sonde et à mesurer l'intensité de champ obtenue à l'aide d'un simulateur électromagnétique 3D ou obtenue à partir de l'analyse théorique décrite dans l'IEC 61967-6. Le facteur d'antenne de la sonde correspond au rapport entre le niveau de signal mesuré et l'intensité de champ calculée. Il convient que cette méthode d'étalonnage soit réalisée à l'aide du montage de mesure de balayage en surface décrit ci-dessus afin de réduire les erreurs d'essai et d'assurer un niveau élevé de répétabilité.

A.2 Equipement d'essai

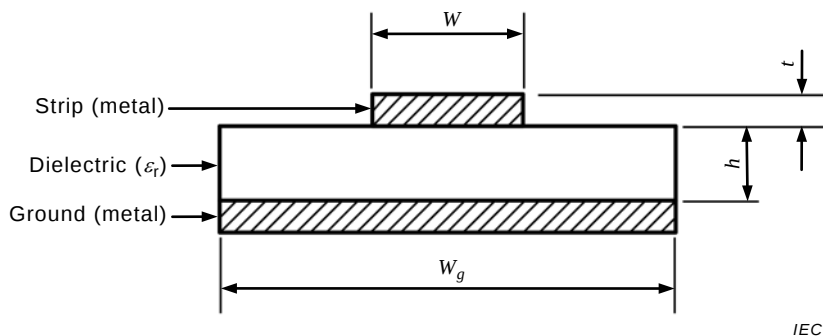
A.2.1 Généralités

L'équipement d'essai utilisé pour l'étalonnage des sondes doit satisfaire à l'Article 7.

A.2.2 PCB avec ligne à microruban

Une PCB à deux couches doit se composer d'un plan de masse uniforme sur une couche et d'un ruban sur l'autre couche, ainsi que d'un support diélectrique (voir Figures A.2 et A.3). La

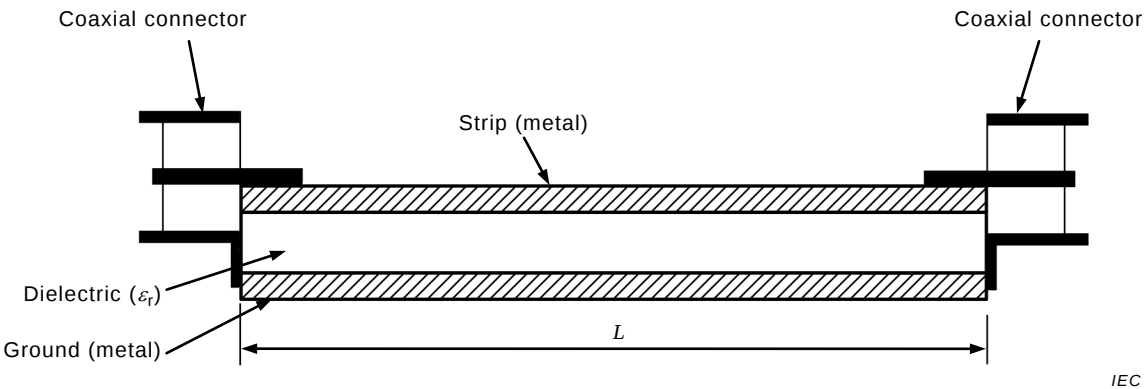
largeur de la ligne à microruban (W) doit être déterminée à partir de l'épaisseur du support diélectrique (h) et de sa constante diélectrique (ϵ_r), de manière à ce que l'impédance caractéristique résultante soit égale à $50\ \Omega \pm 5\ \Omega$. Le calcul peut être réalisé selon une méthode connue ([5], [6], [7]). La longueur du ruban (L) et la largeur du plan de masse (W_g) sous la ligne à microruban doivent correspondre à au moins vingt fois sa largeur (W). La ligne à microruban doit être centrée par rapport au plan de masse. Le Tableau A.3 fournit plusieurs exemples de dimensions. Les connecteurs coaxiaux sont placés à chaque extrémité de la ligne à microruban. Il convient de vérifier l'impédance caractéristique de la ligne à microruban sur la gamme de fréquences souhaitée à l'aide d'un analyseur de réseau, d'un analyseur de spectre avec générateur de poursuite ou d'un oscilloscope pouvant effectuer des mesures de réflectométrie temporelle (TDR, *Time Domain Reflectometry*). La vérification doit être effectuée à un minimum de trois fréquences discrètes par décade (par exemple, 10 MHz et 100 MHz) jusqu'à la fréquence souhaitée maximale. Les balayages doivent être réalisés à différentes positions le long de la ligne afin de vérifier la présence d'ondes stationnaires. Il convient que la variation de la puissance mesurée le long de la ligne ne dépasse pas $\pm 0,4\ \text{dB}$.



Légende

Anglais	Français
Strip (metal)	Bande (métal)
Dielectric	Diélectrique
Ground (metal)	Masse (métal)

Figure A.2 – Ligne à microruban pour l'étalonnage (section transversale)



Légende

Anglais	Français
Coaxial connector	Connecteur coaxial
Strip (metal)	Bande (métal)
Dielectric	Diélectrique
Ground (metal)	Masse (métal)

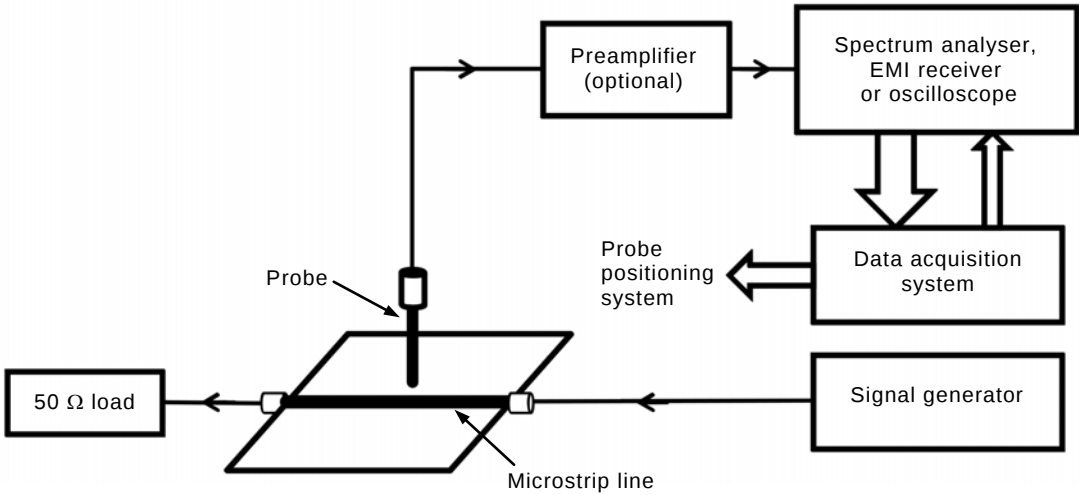
Figure A.3 – Ligne à microruban pour l'étalonnage (section longitudinale)

Tableau A.3 – Dimensions pour le microruban de 50 Ω

Constante diélectrique (ϵ_r)	Epaisseur diélectrique (h)	Largeur de la ligne à microruban (W)
4,5	0,6 mm	1 mm
4,5	1,6 mm	3 mm
2,2	0,8 mm	2,4 mm
2,2	1,6 mm	4,8 mm

A.3 Montage de l'étalonnage

Le montage d'essai utilisé pour l'étalonnage des sondes doit être tel que décrit à l'Article 8 de la présente spécification. La Figure A.4 illustre le montage d'essai pour l'étalonnage, où la sonde doit être placée au centre de la ligne à microruban (direction transversale).



IEC

Légende

Anglais	Français
Preamplifier (Optional)	Préamplificateur (en option)
Spectrum analyser, EMI receiver or oscilloscope	Analyseur de spectre, récepteur EMI ou oscilloscope
Probe	Sonde
Probe positioning system	Système de positionnement de sonde
Data acquisition system	Système d'acquisition de données
Signal Generator	Générateur de signal
Microstrip line	Ligne à microruban
50 Ω load	Charge de 50 Ω

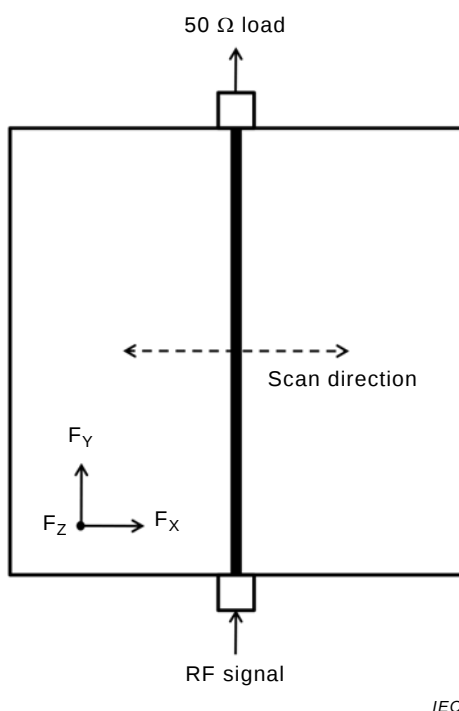
Figure A.4 – Montage d'étalonnage de la sonde

A.4 Procédure d'étalonnage

Le facteur d'étalonnage de la sonde est déterminé en appliquant à la ligne à microruban un signal à la fréquence souhaitée et en effectuant un balayage perpendiculaire à la ligne à microruban comme illustré à la Figure A.5. La puissance appliquée doit être choisie pour produire un signal mesuré avec une marge de bruit au moins égale à 20 dB à toutes les

fréquences d'étalonnage. Pour les besoins de la présente spécification, on suppose que les directions de champ sont semblables à celles illustrées à la Figure A.5. La direction Z est perpendiculaire à la PCB. On suppose également qu'il y a une intensité de champ négligeable dans la direction Y.

La procédure d'étalonnage doit être soit celle décrite dans le présent Article A.4 ou, pour les sondes magnétiques, la procédure décrite dans l'IEC 61967-6. La procédure d'étalonnage utilisée doit être décrite dans le rapport d'essai.



IEC

Légende

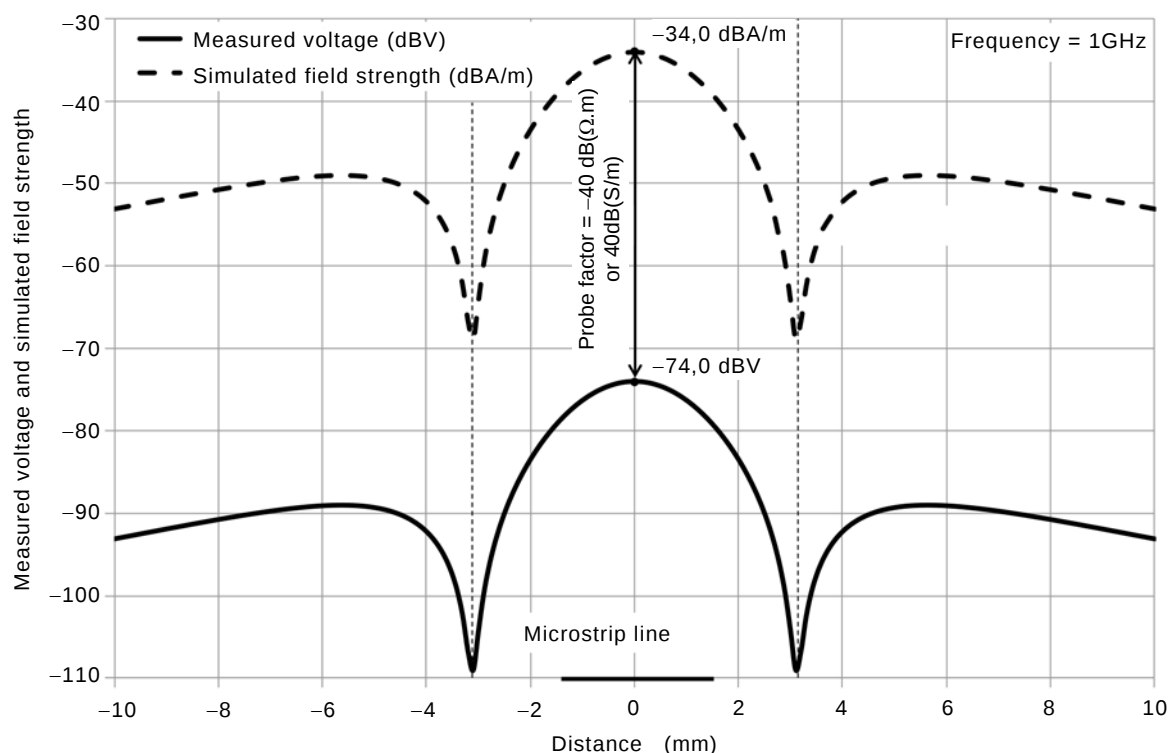
Anglais	Français
50 Ω load	Charge de 50 Ω
Scan direction	Direction de balayage
RF signal	Signal RF

Figure A.5 – Direction de balayage le long de la ligne à microruban

- Placer la sonde au-dessus de la ligne à microruban, de telle sorte que la sonde soit perpendiculaire au plan de masse. L'altitude de la sonde doit être maintenue à $1,0 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, à moins que la sensibilité de la sonde n'exige une altitude inférieure. La sonde doit être orientée de manière à capturer l'intensité de champ maximale dans la direction à étalonner (direction X ou Z). La sonde doit être placée au centre de la ligne à microruban (direction Y).
- Connecter un générateur de signal à une extrémité de la ligne à microruban et raccorder l'autre extrémité de la ligne à microruban dans une charge de 50 Ω .
- Connecter la sonde de champ à un appareil de mesure comme représenté à la Figure A.4.
- Régler le générateur de signal sur la première fréquence à étalonner.
- Régler la puissance de sortie provenant du générateur de signal de manière à produire un signal mesuré avec une marge de bruit au moins égale à 20 dB. Cela produira un champ électromagnétique autour de la ligne à microruban de référence.
- Effectuer un balayage dans la direction perpendiculaire à la ligne à microruban (direction X) et enregistrer la sortie des niveaux de la sonde telle que mesurée par l'appareil de mesure.

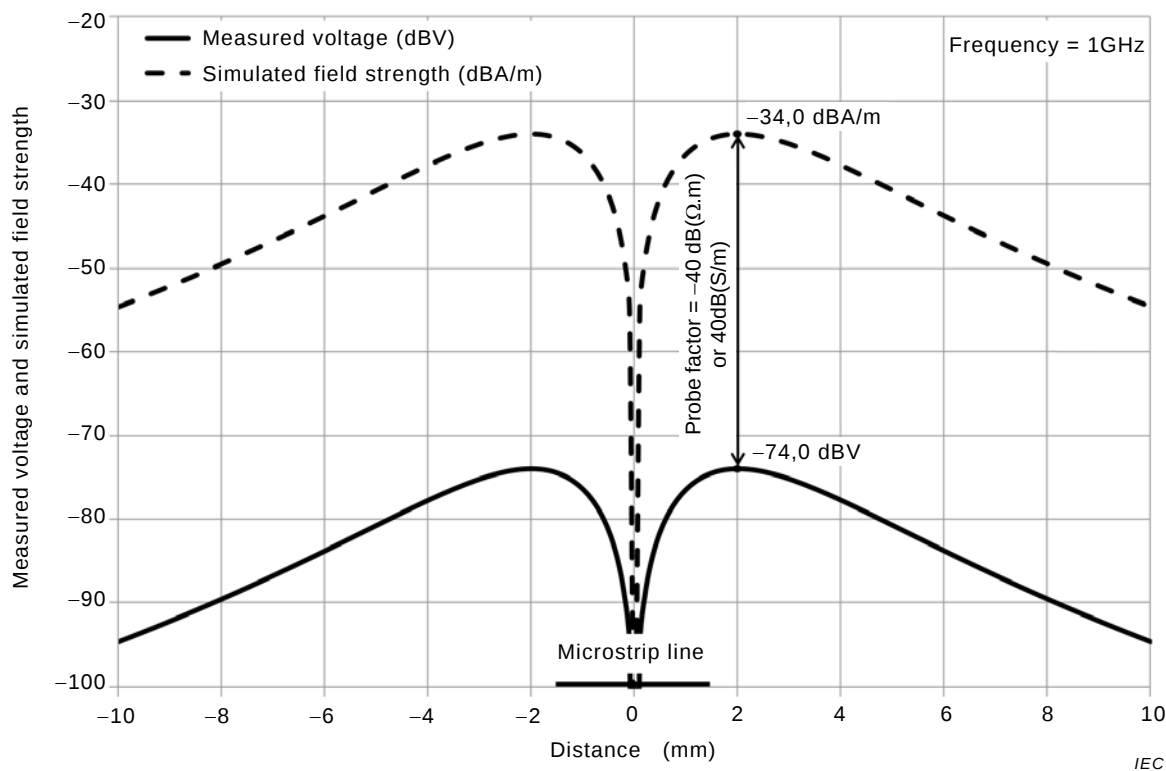
- g) Répéter la mesure à un minimum de trois fréquences discrètes par décade (par exemple, 10 MHz et 100 MHz) jusqu'à la fréquence souhaitée maximale.
- h) Tracer les données mesurées à chaque fréquence par rapport à la distance au centre de la ligne à microruban comme indiqué dans les exemples des Figures A.6 et A.7. Des caractéristiques similaires sont constatées pour les champs électriques [8], [9].
- i) Dans le cas d'une sonde qui mesure un champ dans la direction Z, il convient de tourner la sonde de 90° et de répéter les étapes f, g et h.
- j) Réaliser les simulations d'intensité de champ de la ligne à microruban au moyen d'un simulateur électromagnétique 3D à chaque fréquence étudiée et tracer les données de résultat sur le même graphique que la mesure.
- k) Comparer les résultats mesurés avec ceux de la simulation. Il convient que la forme des deux caractéristiques soit similaire et que les valeurs nulles coïncident. Si les valeurs nulles ne coïncident pas, l'altitude simulée peut différer légèrement par rapport à l'altitude mesurée de la sonde. Cela peut s'expliquer par le fait que le point de sensibilité maximale de la sonde se situe à une altitude supérieure à celle de la pointe de la sonde et cela se voit plus particulièrement avec les sondes de champ Z. L'altitude de la caractéristique simulée peut être ajustée de manière à s'adapter au mieux aux données mesurées. Le facteur d'antenne de la sonde est déterminé à partir des valeurs maximales des caractéristiques mesurées et simulées à l'aide des équations données en A.1. Il convient de veiller à ajuster les unités de l'intensité de champ et du niveau de signal mesuré pour donner les unités de facteur de puissance souhaitées. Dans le cas d'une caractéristique avec deux maxima (par exemple, H_z comme illustré dans la Figure A.7), la valeur moyenne des deux maxima peut être utilisée aux fins de calcul du facteur d'antenne de la sonde. De la même manière, dans le cas d'une mesure du champ Z, on peut utiliser la valeur moyenne entre les caractéristiques résultant des mesures orthogonales. Noter le facteur d'antenne de la sonde obtenu à chaque fréquence souhaitée. Les résultats peuvent être représentés sous la forme d'un tableau ou d'une courbe par rapport à la fréquence (voir Figure A.1).

La sonde intégrera le champ (surface ou longueur). Le centre efficace de la sonde doit donc être déterminé lors de la comparaison avec le champ simulé. Cela dépend en grande partie du type de sonde (E ou H) et revêt une importance particulière pour les sondes de grande taille.



Légende	
Anglais	Français
Measured voltage	Tension mesurée
Simulated field strength	Intensité du champ simulée
Frequency	Fréquence
Probe factor	Facteur d'antenne de la sonde
Microstrip line	Ligne à microruban
Measured Voltage and simulated field strength	Tension mesurée et intensité du champ simulée

Figure A.6 – Courbe classique du niveau de signal mesuré et de l'intensité de champ simulé (H_X)



Légende	
Anglais	Français
Measured voltage	Tension mesurée
Simulated field strength	Intensité du champ simulée
Frequency	Fréquence
Probe factor	Facteur d'antenne de la sonde
Microstrip line	Ligne à microruban
Measured Voltage and simulated field strength	Tension mesurée et intensité du champ simulée

Figure A.7 – Courbe classique du niveau de signal mesuré et de l'intensité de champ simulée (Hz)

Annexe B
(informative)

Sondes discrètes de champs électrique et magnétique

B.1 Généralités

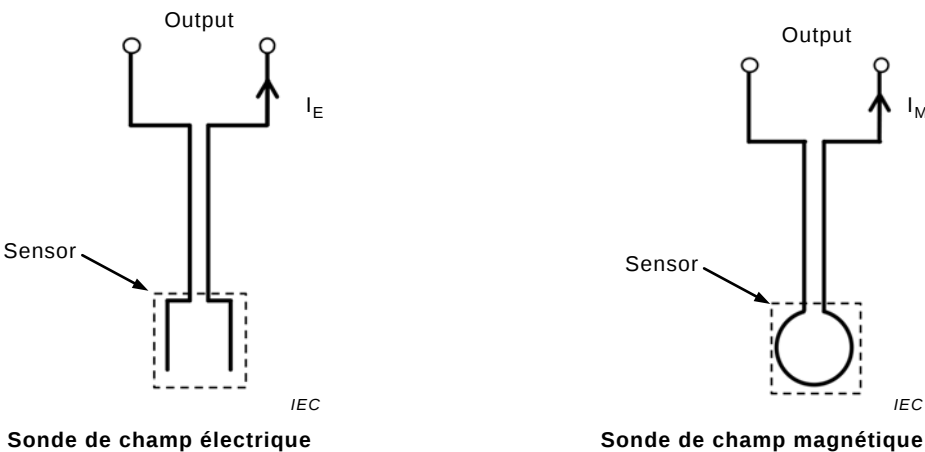
Les sondes discrètes de champs électrique et magnétique peuvent être utilisées à la place de la sonde de champ électromagnétique combiné afin d'effectuer des mesures de balayage en surface. L'utilisation d'une sonde discrète de champ électrique ou magnétique peut simplifier le montage d'essai et le traitement des données, à condition qu'elle satisfasse aux besoins de l'utilisateur. La conception et la fabrication des sondes discrètes de champs électriques et magnétiques ne sont pas spécifiées pour permettre l'utilisation d'une variété de sondes afin de satisfaire aux besoins spécifiques de l'utilisateur.

Le système de mesure et le programme de traitement de données utilisés pour rassembler et manipuler les données mesurées ne sont pas spécifiés non plus et varieront en fonction du type de sonde utilisée et des résultats souhaités.

Des exemples de sondes discrètes de champs électrique et magnétique possibles et un exemple de système de mesure sont présentés ci-dessous.

B.2 Description électrique de la sonde

Le circuit équivalent des sondes discrètes de champs électriques et magnétiques, ainsi que leurs sorties, sont représentés à la Figure B.1. La figure illustre la façon dont les sondes de champ mesurent les champs électrique et magnétique. Les signaux de sortie provenant des sondes de champs électrique et magnétique sont induits par le champ électrique ou magnétique, respectivement. Le courant provenant du champ magnétique I_M est produit par le flux magnétique traversant la zone de la boucle. Le courant provenant du champ électrique I_E est induit par le champ électrique au niveau de l'élément de détection de la sonde de champ électrique.



Légende

Anglais	Français
Output	Sortie
Sensor	Capteur

Figure B.1 – Schémas de sondes de champs électriques et magnétiques

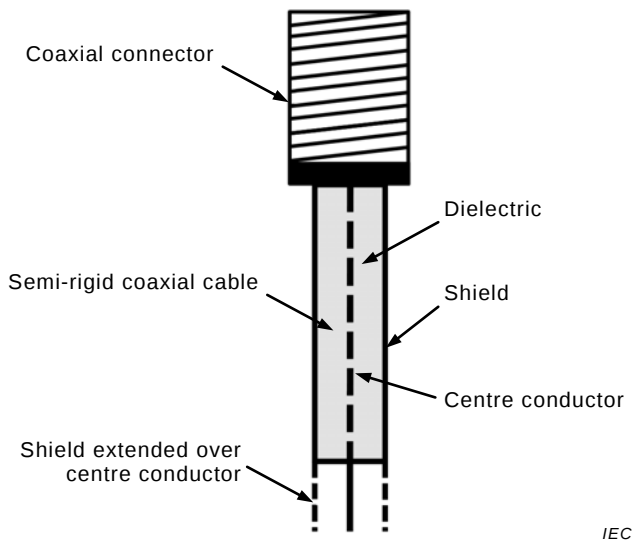
B.3 Description physique de la sonde

B.3.1 Généralités

Bien qu'il existe de nombreux moyens acceptables de fabriquer des sondes de champs électriques et magnétiques utilisables, les sondes décrites à titre d'exemple dans les B.3.2 and B.3.3 suivants sont fabriquées à partir d'un câble coaxial semi-rigide. L'avantage de la construction avec câble est la petite taille physique de la sonde qui en résulte et le contrôle d'impédance facile. Les problèmes posés par la construction avec câbles sont la difficulté de la fabrication et l'éventualité de dommages à la sonde.

B.3.2 Sonde de champ électrique

Un exemple de sonde de champ électrique est présenté à la Figure B.2. Le capteur du champ électrique est le conducteur central. Noter que le blindage du câble peut être étendu afin de recouvrir le conducteur central. Pour les autres exemples, voir [9]. La direction du champ mesuré est parallèle au conducteur (dans ce cas E_z).



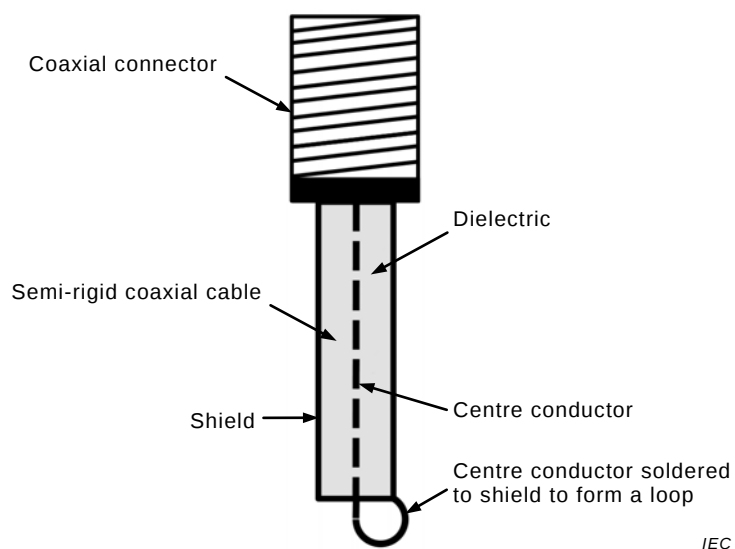
Légende

Anglais	Français
Coaxial connector	Connecteur coaxial
Semi-rigid coaxial cable	Câble coaxial semi-rigide
Shield extended over centre conductor	Blindage étendu sur conducteur central
Dielectric	Diélectrique
Shield	Blindage
Centre conductor	Conducteur central

Figure B 2 – Exemple de construction de sonde de champ électrique (E_z)

B.3.3 Sonde de champ magnétique

Un exemple de sonde de champ magnétique est présenté à la Figure B.3. Le capteur du champ magnétique est la boucle simple formée par le conducteur central et raccordée au blindage. La direction de champ mesurée est perpendiculaire au plan de la boucle (dans ce cas H_x ou H_y).



Légende

Anglais	Français
Coaxial connector	Connecteur coaxial
Semi-rigid coaxial cable	Câble coaxial semi-rigide
Dielectric	Diélectrique
Shield	Blindage
Centre conductor	Conducteur central
Centre conductor soldered to shield to form a loop	Conducteur central brasé sur le blindage pour former une boucle

Figure B 3 – Exemple de construction de sonde de champ magnétique (H_X or H_Y)

Annexe C (informative)

Exemple de sonde de champs électrique et magnétique combinés

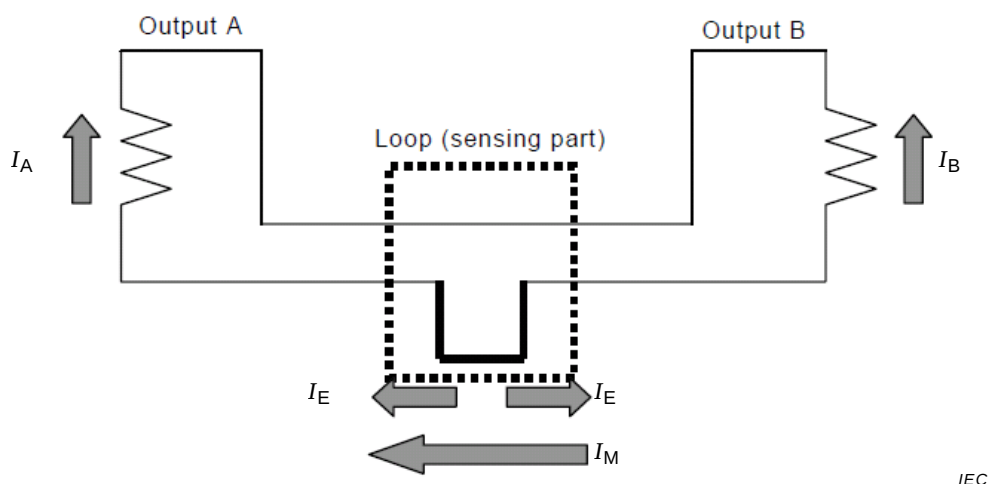
C.1 Généralités

Une sonde qui est capable de mesurer à la fois le champ magnétique et le champ électrique peut être utilisée à la place de sondes discrètes de champ magnétique et de champ électrique [10]. La conception et la fabrication de la sonde de champ électrique et magnétique combiné ne sont pas spécifiées pour permettre l'utilisation d'une ou de plusieurs sondes afin de satisfaire aux besoins spécifiques de l'utilisateur. Le système de mesure et le programme de traitement de données utilisés pour rassembler et manipuler les données mesurées ne sont pas spécifiés non plus et varieront en fonction du type de sonde utilisée et des résultats souhaités.

Un exemple de sonde de champs électrique et magnétique combinés possible et un exemple de système de mesure sont présentés ci-dessous.

C.2 Description électrique de la sonde

Le circuit équivalent de la sonde de champs électrique et magnétique combinés (électromagnétique) et de sa sortie est représenté à la Figure C.1. La figure illustre la façon dont le capteur mesure les champs électrique et magnétique. Les signaux de sortie provenant du capteur sont induits à la fois par les champs électrique et magnétique. Le courant provenant du champ magnétique, I_M , est produit par le flux magnétique traversant la boucle. Les sorties résultantes induites par le champ magnétique ont la même amplitude, mais vont dans des directions opposées au niveau des emplacements A et B. Le courant provenant du champ électrique, I_E , est induit par le champ électrique au niveau de l'élément de détection. Les sorties résultantes provenant du champ électrique ont également la même amplitude, mais vont dans la même direction au niveau des emplacements A et B.



Légende

Anglais	Français
Output	Sortie
Loop (sensing part)	Boucle (partie sensible)

Figure C 1 – Schéma de la sonde de champ électromagnétique

Par conséquent, les courants induits au niveau des sorties A et B sont

$$I_A = I_E + I_M$$

$$I_B = I_E - I_M$$

En calculant la somme vectorielle et la différence de ces sorties, le courant induit par le champ magnétique peut être séparé du courant induit par le champ électrique.

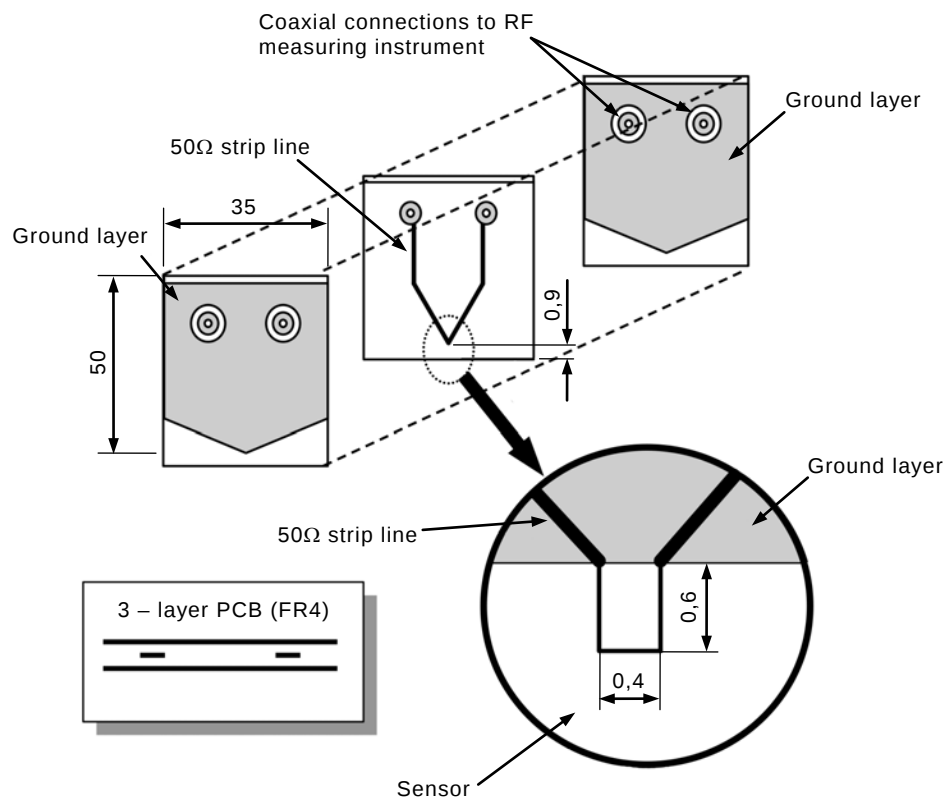
$$I_E = (I_A + I_B)/2$$

$$I_M = (I_A - I_B)/2$$

C.3 Description physique de la sonde

Bien qu'il existe de nombreux moyens acceptables de fabriquer une sonde de champ électromagnétique utilisable, la sonde donnée ci-dessous à titre d'exemple est fabriquée sur une carte de circuit imprimé à 3 couches, comme représenté à la Figure C.2.

Le capteur se compose d'une ligne de 0,2 mm formée dans la couche centrale de la carte, dont les deux sorties sont connectées à un appareil de mesure par l'intermédiaire de lignes à ruban de 50 Ω. Les avantages de la fabrication de la PCB sont la capacité à incorporer un isolant pour satisfaire à l'exigence de 1 mm, la facilité de la fabrication et la robustesse de la sonde.



IEC

Légende

Anglais	Français
Coaxial connections to RF measuring instrument	Connexions coaxiales à l'instrument de mesure RF
50 Ω strip line	Ligne à ruban de 50 Ω
Ground layer	Couche de mise à la terre
Sensor	Capteur
3- layer PCB	PCB 3 couches
Dimensions in mm	Dimensions en mm

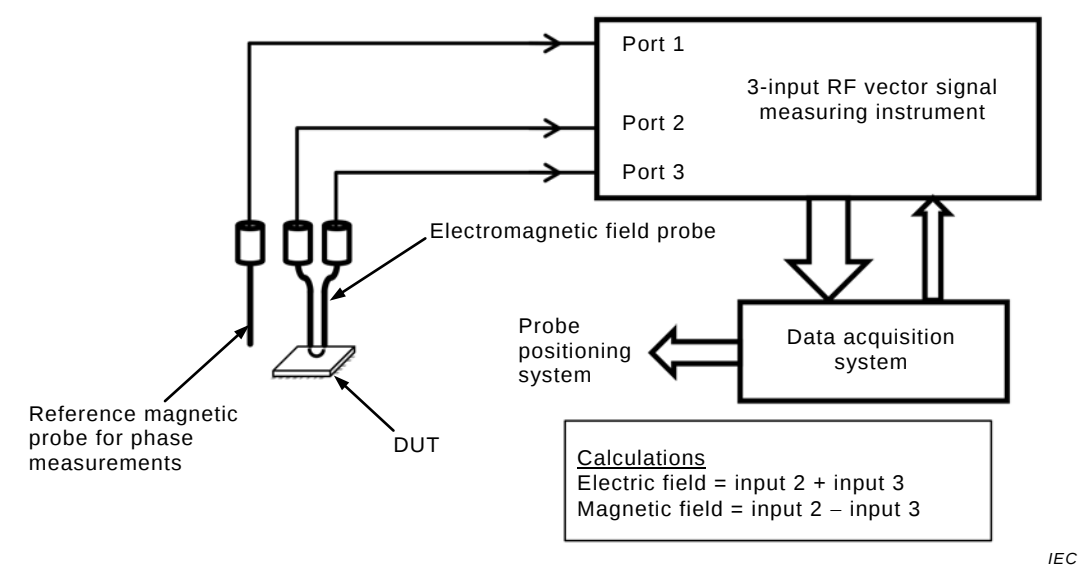
Figure C.2 – Fabrication de la sonde de champ électromagnétique

C.4 Système de mesure et d'acquisition de données

Un exemple de système de traitement de données est représenté à la Figure C.3, et les détails sont représentés à la Figure C.4. L'appareil de mesure du signal vectoriel RF à 3 entrées est utilisé pour mesurer le signal d'entrée, qui est abaissé à la fréquence intermédiaire (FI) et numérisé par un convertisseur analogique-numérique (A/D). Tous les signaux d'entrée sont synchronisés à l'aide du même oscillateur local et du même signal d'horloge.

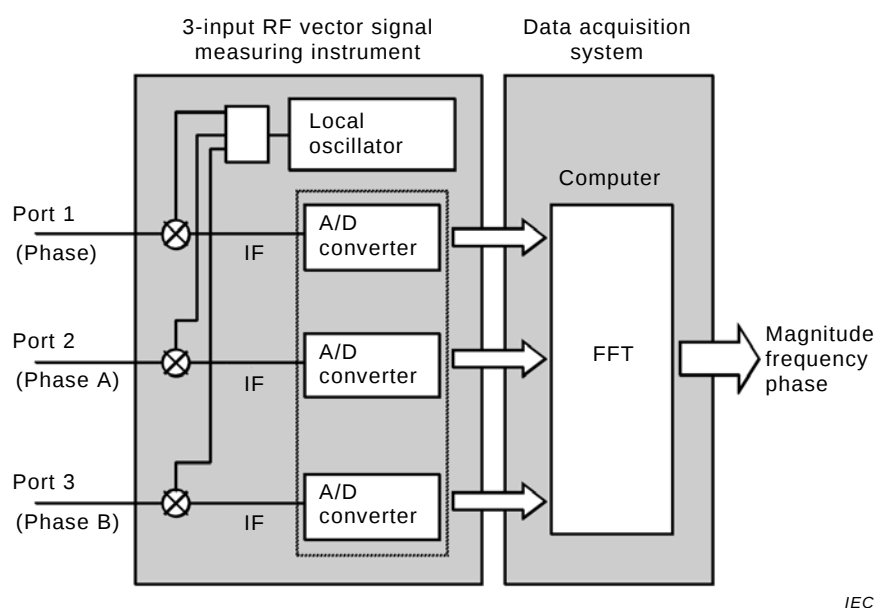
Cela assure le maintien des informations de phase relatives pour chacune des trois entrées. En utilisant les informations de phase relatives, il est possible de calculer la somme vectorielle et soustraire la différence entre les entrées.

Le système d'acquisition de données collecte les données mesurées et effectue une transformée rapide de Fourier (FFT) pour déduire l'amplitude du signal, la fréquence et les informations de phase. Les données peuvent être manipulées afin d'obtenir la présentation souhaitée.



Légende	
Anglais	Français
3-input RF vector signal measuring instrument	Instrument de mesure de signal vectoriel RF à 3 entrées
Electromagnetic field probe	Sonde de champ électromagnétique
Reference magnetic probe for phase measurements	Sonde magnétique de référence pour mesures de phase
Probe positioning system	Système de positionnement de la sonde
Data acquisition system	Système d'acquisition des données
Calculations	Calculs
Electric field = Input2 + Input3	Champ électrique = entrée 2 + entrée 3
Magnetic field = Input2 - Input3	Champ magnétique = entrée 2 - entrée 3

Figure C.3 – Vue d'ensemble du système de mesure et d'acquisition de données



IEC

Légende

Anglais	Français
3-input RF vector signal measuring instrument	Instrument de mesure de signal vectoriel RF à 3 entrées
Data acquisition system	Système d'acquisition des données
Computer	Ordinateur
Local oscillator	Oscillateur local
A/D converter	Convertisseur analogique-numérique
Probe	Sonde
Magnitude frequency phase	Phase de fréquence de magnitude

Figure C.4 – Détails du système de mesure et d'acquisition de données

Annexe D (informative)

Système de coordonnées

D.1 Généralités

Trois systèmes de coordonnées peuvent être utilisés pour les balayages de champs proches:

- Coordonnées cartésiennes (x, y, z)
- Coordonnées cylindriques (r, A, h)
- Coordonnées sphériques (r, A, B)

Le système le plus fréquemment utilisé est le système de coordonnées cartésiennes. Le système de coordonnées concerne non seulement le positionnement de la sonde, mais également les directions de champs. Le positionnement de la sonde et la direction de champ doivent utiliser le même système de coordonnées.

Comme décrit à l'Article D.5, les systèmes de coordonnées peuvent aisément être convertis en un autre système de coordonnées.

D.2 Système de coordonnées cartésiennes

Afin de s'adapter à différents systèmes de coordonnées de table de balayage, les coordonnées cartésiennes peuvent être un système droite (voir Figure D.1) ou un système gauche (voir Figure D.2). Le système de coordonnées cartésiennes côté droite est toutefois préférable et doit être utilisé autant que possible.

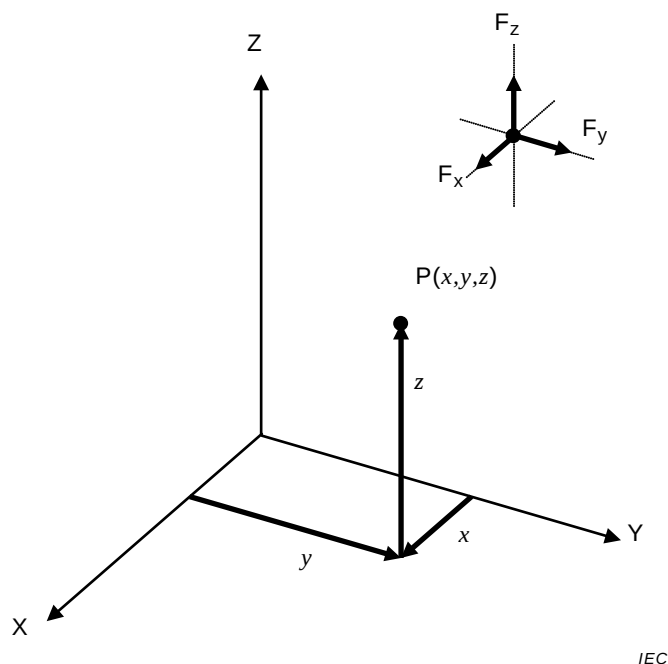


Figure D.1 – Système de coordonnées cartésiennes droite (préférable)

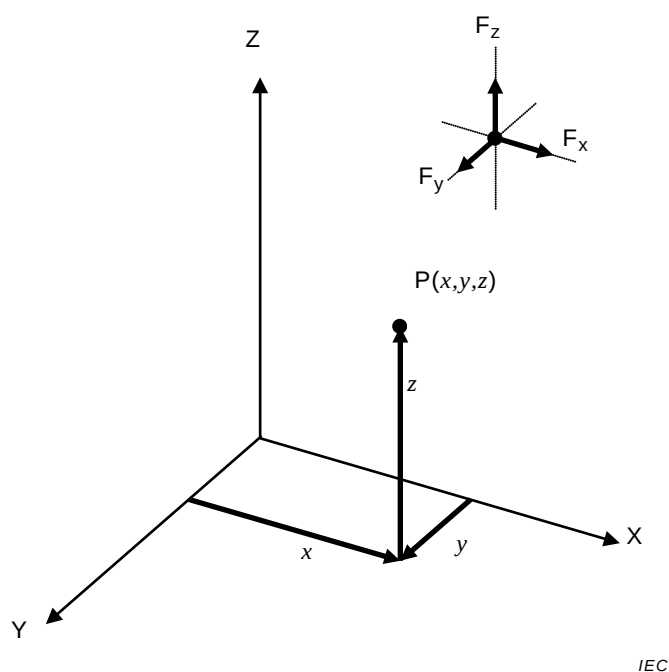


Figure D.2 – Système de coordonnées cartésiennes gauche

D.3 Système de coordonnées cylindriques

Le système de coordonnées cylindriques suppose que, quelle que soit l'orientation de l'équipement de balayage, le plan polaire (r, A) se trouve dans le plan XY d'un système de coordonnées cartésiennes et que l'axe linéaire (h) se trouve dans la direction Z d'un système de coordonnées cartésiennes, comme illustré à la Figure D.3.

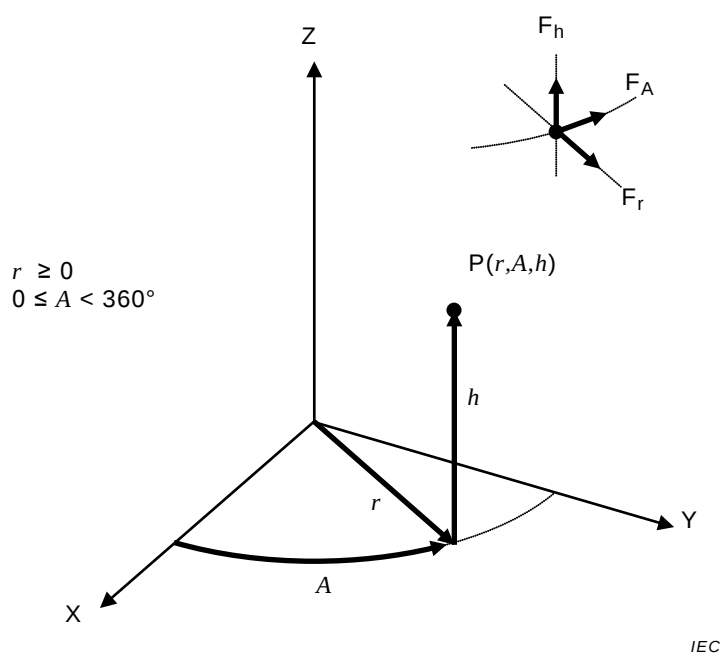


Figure D.3 – Système de coordonnées cylindriques

D.4 Système de coordonnées sphériques

Le système de coordonnées sphériques suppose que, quelle que soit l'orientation de l'équipement de balayage, l'angle d'azimut (A) se trouve dans le plan XY d'un système de coordonnées cartésiennes et que l'angle de zénith (B) se trouve entre l'axe Z d'un système de coordonnées cartésiennes et le vecteur r , comme illustré à la Figure D.4. Afin de ne pas avoir à utiliser des valeurs d'angle négatives, l'angle de zénith B doit être utilisé, de préférence à l'angle d'élévation (l'angle entre le plan XY et le vecteur r), qui est par exemple utilisé pour les diagrammes de rayonnement des antennes.

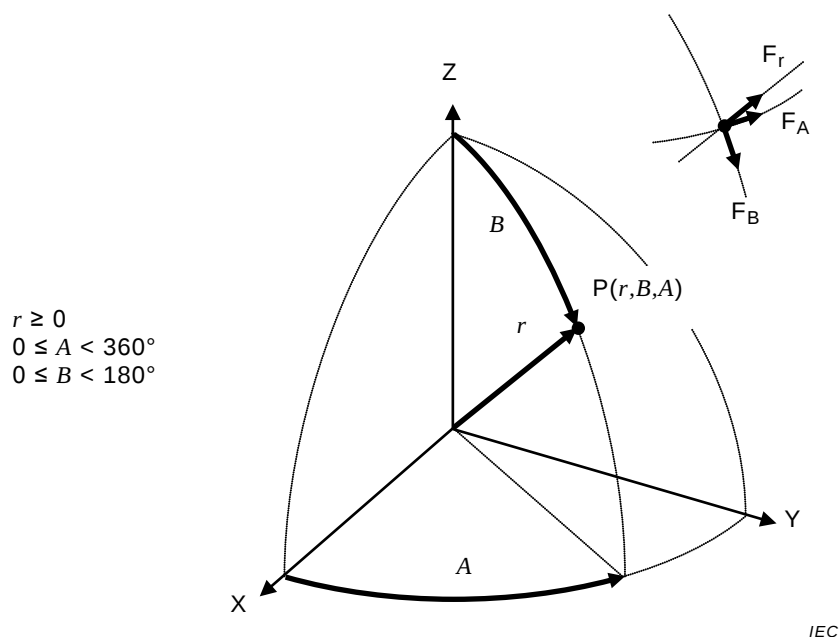


Figure D.4 – Système de coordonnées sphériques

D.5 Conversion du système de coordonnées

Le Tableau D.1 résume les relations entre les systèmes de coordonnées décrits ci-dessus.

Tableau D.1 – Conversion du système de coordonnées

		A		
		Cartésien	Cylindrique	Sphérique
De	Cartésien	Pour naviguer entre les systèmes de coordonnées cartésiennes gauches et droites: $x_R = x_L, y_R = -y_L, z_R = z_L$	$r = \sqrt{x^2 + y^2}$ $A = \arctan(y/x)$ $h = z$	$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ $A = \arctan(y/x)$ $B = \arccos\left(z / \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}\right)$
	Cylindrique	$x = r \cos A$ $y = r \sin A$ $z = h$		$r_S = \sqrt{h^2 + r_C^2}$ $A_S = A_C$ $B = \arccos\left(h / \sqrt{h^2 + r_C^2}\right)$
	Sphérique	$x = r \cos A \sin B$ $y = r \sin A \sin B$ $z = r \cos B$	$r_C = r_S \sin B$ $A_C = A_S$ $h = r_S \cos B$	

Bibliographie

- [1] IEC 61967-6, *Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques, 150 kHz à 1 GHz – Partie 6: Mesure des émissions conduites – Méthode de la sonde magnétique*
 - [2] S. Serpaud, L. Arnal, B. Ravelo, D. Baudry, "Conception Assistée par Mesure Champ Proche", Interference Technology, EMC Europe Guide 2011 (disponible en anglais seulement)
 - [3] IEC TR 61967-1-1: *Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques – Partie 1-1: Conditions générales et définitions – Format d'échange de données de cartographie en champ proche*
 - [4] A. Boyer, C. Labussière, O. Pigaglio, J. Tao, E. Sicard et C. Lochot, "Methodology of Calibration of Miniature Near-Field Probes for Quantitative Characterization of IC Radiation", ICONIC 2005, Barcelona (disponible en anglais seulement)
 - [5] Hammerstad E.O., 1975, "Equations for Microstrip Circuit Design" (disponible en anglais seulement)
 - [6] Schneider M.V., 1968, "Microstrip Lines for Microwave Integrated Circuit" (disponible en anglais seulement)
 - [7] Wheeler H.A., 1965, "Transmission Line Properties of Parallel Strips Separated by a Dielectric Sheet" (disponible en anglais seulement)
 - [8] L. Bouchelouk, Z. Riah, D. Baudry, M. Kadi, A. Louis, B. Mazari, "Characterisation of Electromagnetic Fields Close To Microwave Devices Using Electric Dipole Probes", International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, Volume 18, Issue 2, pp. 146 – 156, March 2008 (disponible en anglais seulement)
 - [9] D. Baudry, A. Louis, and B. Mazar, "Characterization of the Open-Ended Coaxial Probe Used for Near-Field Measurements in Emc Applications", Progress In Electromagnetics Research, PIER 60, 311-333, 2006 (disponible en anglais seulement)
 - [10] Kazama S., Arai K. I., "Adjacent Electric Field and Magnetic Field Distribution Measurement System" 2002 IEEE International Symposium on EMC (Minneapolis) Record (CD-ROM), Aug. 2002 (disponible en anglais seulement)
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch